

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

RAISSA YUKIE YAMASAKI RODRIGUES

**SISTEMA DE TELEMETRIA PARA CULTIVO URBANO COM
COMUNICAÇÃO WI-FI ALIMENTADO POR CÉLULAS
FOTOVOLTAICAS ORGÂNICAS FLEXÍVEIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2019

RAISSA YUKIE YAMASAKI RODRIGUES

**SISTEMA DE TELEMETRIA PARA CULTIVO URBANO COM
COMUNICAÇÃO WI-FI ALIMENTADO POR CÉLULAS
FOTOVOLTAICAS ORGÂNICAS FLEXÍVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de “Engenheira em Eletrônica“

Orientador: Prof. Dr. Hugo Vieira Neto

CURITIBA

2019

RAISSA YUKIE YAMASAKI RODRIGUES

**SISTEMA DE TELEMETRIA PARA CULTIVO URBANO COM
COMUNICAÇÃO WI-FI ALIMENTADO POR CÉLULAS
FOTOVOLTAICAS ORGÂNICAS FLEXÍVEIS.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Eletrônica, do curso de Engenharia Eletrônica do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN) outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). A aluna Raissa Yukie Yamasaki Rodrigues foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Curitiba, 24 de junho de 2019.

Prof. Dr. Robinson Vida Noronha
Coordenador de Curso de
Engenharia Eletrônica

Prof^ª. Dr^ª. Carmen Caroline Rasera
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Eletrônica do DAELN

BANCA EXAMINADORA	
<hr/> <p>Prof. Dr. Hugo Vieira Neto Universidade Tecnológica Federal do Paraná Orientador</p>	<hr/> <p>Prof^ª. Dr^ª. Simone Crocetti Universidade Tecnológica Federal do Paraná</p>
	<hr/> <p>Prof. Dr. Bruno Sens Chang Universidade Tecnológica Federal do Paraná</p>

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica.

AGRADECIMENTOS

Aos meu colegas Patrícia Paula da Luz Victor, Luiz Augusto Bernardi e José Geraldo Mirachi, obrigada pela união nos momentos mais sombrios dessa graduação.

Ao meu amigo e mentor Daniel Ikenaga, por me dar soluções quando não as conseguia achar.

Ao meu professor Hugo Vieira Neto, que me deu a honra de ser sua orientanda neste trabalho.

E ao meu companheiro Marcelo Marega Pinhel, meu parceiro no trabalho, nos estudos e na vida. Obrigada por me permitir essa jornada ao seu lado.

”Que nada nos limite, que nada nos defina, que nada nos sujeite. Que a liberdade seja nossa própria substância, já que viver é ser livre.”

(Simone de Beauvoir)

RESUMO

YAMASAKI, Raissa. SISTEMA DE TELEMETRIA PARA CULTIVO URBANO COM COMUNICAÇÃO WI-FI ALIMENTADO POR CÉLULAS FOTOVOLTAICAS ORGÂNICAS FLEXÍVEIS. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Visando difundir e facilitar a prática da agricultura urbana, foi criada a Favo Tecnologia, uma empresa que desenvolveu um dispositivo de irrigação e sensoriamento para hortas urbanas. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma placa eletrônica compatível com a tecnologia existente dessa empresa, e o conceito de um novo produto utilizando a placa desenvolvida, um vaso *smart* conectado à internet, alimentado por energia solar através da tecnologia de películas de OPV (*Organic Photovoltaic*). Esse vaso permite ao usuário ter controle remoto da irrigação de sua planta e o acompanhamento dos dados fornecidos pelos sensores de temperatura, umidade e luminosidade ambiente através do aplicativo da Favo. Neste documento são discutidas as decisões feitas no processo de concepção do produto e da tecnologia desenvolvida, bem como os problemas encontrados, finalizando com propostas de melhorias para que o protótipo desenvolvido se torne um produto comercial e os resultados obtidos.

Palavras-chave: Agricultura urbana, internet das coisas, OPV, jardim inteligente

ABSTRACT

YAMASAKI, Raissa. TELEMETRY SYSTEM WITH WI-FI COMMUNICATION POWERED BY FLEXIBLE PHOTOVOLTAIC ORGANIC CELLS FOR URBAN CULTIVATION. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

In order to spread and facilitate the practice of urban agriculture, Favo Tecnologia, a company that developed an irrigation and sensing device for urban gardens was created. This work presents the development of an electronic board compatible with the company's existing technology, and the concept of a new product using this board, an internet-connected vase powered by solar energy through OPV film technology. This vase allows the user to have remote control of the irrigation of his/her plant and to monitor ambient data provided by the temperature, humidity and luminosity sensors through the Favo smartphone application. This document discusses the decisions made in the process of designing the product and technology, as well as the problems encountered, and the results obtained ending with proposals for improvements so that the developed prototype becomes a commercial product.

Keywords: Urban agriculture, internet of things, OPV, smart garden

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Imagem de divulgação do controlador de irrigação Favo.	12
FIGURA 2	– Diagrama de escopo geral do sistema.	16
FIGURA 3	– Visão geral da arquitetura do sistema de monitoramento em nuvem.	16
FIGURA 4	– Telas de instruções para sincronia em inglês.	18
FIGURA 5	– Tela de seleção de rede Wi-Fi em inglês.	19
FIGURA 6	– Tela exibida quando o processo de sincronia é bem sucedido, em inglês. .	19
FIGURA 7	– Interação do botão “Regar agora” com o estado do botão tipo <i>toggle</i>	22
FIGURA 8	– Diagrama de blocos do projeto eletrônico.	25
FIGURA 9	– Diagrama esquemático do microcontrolador e circuitos auxiliares.	26
FIGURA 10	– Diagrama esquemático da memória flash, antena e circuitos de <i>boot</i>	27
FIGURA 11	– Diagrama esquemático do modo programável automático.	28
FIGURA 12	– Comparação da resposta espectral do sensor TSL2561 com o espectro de absorção de três pigmentos chaves para a fotossíntese.	29
FIGURA 13	– Diagrama esquemático dos circuitos dos sensores TSL2591 e DHT22. ...	30
FIGURA 14	– Circuito de acionamentos CA e CC.	31
FIGURA 15	– Prédio da TOTVS revestido por películas fotovoltaicas orgânicas.	32
FIGURA 16	– Ilustração da antena F invertida.	35
FIGURA 17	– Layout da PCI, vista TOP.	36
FIGURA 18	– Layout da PCI, vista BOTTOM.	36
FIGURA 19	– Modelo 3D da PCI.	37
FIGURA 20	– Gráfico com os resultados dos testes com a antena de PCI.	38
FIGURA 21	– Conceito mecânico do protótipo, vista frontal em corte.	39
FIGURA 22	– Imagem dos componentes do vaso separados.	40
FIGURA 23	– Imagem da mecânica do vaso finalizada.	41
FIGURA 24	– Fotos da placa fabricada para prototipagem do vaso IoT.	42
FIGURA 25	– Fotos de produtos semelhantes ao desenvolvido neste trabalho.	44
FIGURA 26	– Parte da linha de produção dos filmes de OPV da fábrica da SUNEW.	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Especificações da bomba d'água AD20P.	31
TABELA 2	– Especificações do filme fotovoltaico produzido pela SUNEW.	33
TABELA 3	– Especificações do tamanho das cotas da antena F invertida.	35
TABELA 4	– Resumo das propriedades da IFA.	35
TABELA 5	– Classificação da qualidade do sinal Wi-Fi.	39
TABELA 6	– Comparação com produtos disponíveis no mercado.	43

LISTA DE SIGLAS

OPV	Organic Photovoltaic
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
IoT	<i>Internet of Things</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
MVC	<i>ModelView-Controller</i>
SASS	<i>Syntactically Awesome Stylesheets</i>
DNP	<i>Do Not Place</i>
BOM	<i>Bill of Materials</i>
SMT	<i>Surface Mount Technology</i>
THT	<i>Through Hole Technology</i>
IFA	<i>Inverted F Antenna</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	MOTIVAÇÃO	11
1.2	OBJETIVOS	13
1.3	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	14
2	VISÃO GERAL DO SISTEMA	15
2.1	ARQUITETURA	15
2.2	<i>FIRMWARE</i>	17
2.3	CONEXÃO COM A INTERNET	17
2.4	PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO MQTT	18
2.5	INTERFACE DE PROGRAMAÇÃO	21
2.6	APLICATIVO	21
3	PROJETO	24
3.1	PROJETO ELETRÔNICO	24
3.1.1	Núcleo principal	25
3.1.2	Antena Wi-Fi	28
3.1.3	Sensor de luminosidade ambiente	28
3.1.4	Sensor de temperatura e umidade ambiente	30
3.1.5	Acionamentos	31
3.2	OPV (<i>ORGANIC PHOTOVOLTAIC CELL</i>)	32
4	IMPLEMENTAÇÃO	34
4.1	<i>LAYOUT</i> DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO	34
4.2	ADEQUAÇÕES NO <i>FIRMWARE</i> E NA API	36
4.3	TESTES	37
4.4	MECÂNICA	38
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	42
5.1	PONTOS FORTES	43
5.2	COMPARAÇÃO COM PRODUTOS JÁ EXISTENTES	43
5.3	PROBLEMAS ENCONTRADOS	44
5.4	MELHORIAS	44
5.5	TRABALHOS FUTUROS	45
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	Apêndice A – FABRICAÇÃO DA PELÍCULA OPV	49

1 INTRODUÇÃO

”A prática da agricultura tem uma associação intrínseca ao desenvolvimento da humanidade. Técnicas são passadas pelas gerações e praticadas até hoje nos campos de cultivo, provendo alimentação básica para as populações. Apesar das técnicas atuais empregadas na agricultura permitirem que haja aglomerados urbanos de alta densidade essa prática fica, em sua maioria, restrita a áreas rurais, e não é conhecida ou praticada pela maior parte da população, que se encontra nas cidades”(PINHEL, 2017).

De acordo com projeções da FAO (*Food and Agriculture Organization*), agência pertencente à ONU, em 2030 dois terços da população mundial estará vivendo nas cidades. Essa rápida urbanização vem acompanhada do crescimento de pobreza urbana e insegurança alimentar, principalmente nos países em desenvolvimento. Segundo estudos dessa organização, para conseguir atender a demanda de alimento com o aumento populacional, será necessário que os moradores de áreas urbanas pratiquem a agricultura de maneira local e em pequena escala (FAO, 1999).

1.1 MOTIVAÇÃO

Entre os benefícios da agricultura urbana, Hoorweg e Munro-Faure citam o fornecimento de alimentos para o consumo próprio de famílias e geração de renda a partir da produção excedente ou especializada, o melhoramento da oferta de alimentos frescos e com alto valor nutricional em mercados locais a preços baixos e a reutilização da água e reciclagem do lixo para suprir as necessidades das hortas urbanas (HOORNWEG; MUNRO-FAURE, 2008).

Com o objetivo de incentivar essa cultura, surgiu a Favo Tecnologia, uma *startup* que cria produtos para facilitar o cultivo em casa. O principal produto comercializado hoje por essa empresa é um controlador de irrigação que se comunica através da rede Wi-Fi para receber comandos e enviar informações através de um aplicativo de celular. Uma imagem desse dispositivo pode ser vista na Figura 1.

Esse controlador possui sensores de temperatura, luminosidade e umidade ambiente,



Figura 1: Imagem de divulgação do controlador de irrigação Favo. Estão indicados por números os principais componentes do produto: 1) Controlador, 2) Mangueiras de irrigação, 3) Bomba d'água e distribuidor de irrigação, 4) Reservatório de água, 5) Imagem ilustrativa do aplicativo Favo.

Fonte: Favo Tecnologia

disponibilizando para o usuário o histórico das leituras e também seus valores em tempo real. Com a medição destas variáveis essenciais para as plantas, o usuário pode prevenir e diagnosticar doenças, e também replicar padrões que deram certo para algum tipo de planta. Outra vantagem do aparelho é o controle remoto da irrigação, que economiza o tempo de cuidado diário que o cliente deve ter com suas plantas e dá liberdade para viagens sem prejudicar seus cultivos.

Além da proposta de incentivo da agricultura urbana, há uma crescente demanda por dispositivos conectados, os chamados dispositivos IoT (*Internet of Things*). Em 2017 houve um salto de 31% em relação a 2016, com 8,4 bilhões de objetos conectados neste ano. As regiões que lideraram esse avanço são a China, América do Norte e Europa Ocidental. Até o ano de 2020, 20,4 bilhões de dispositivos devem estar conectados, ano em que as despesas

com *hardware* dos segmentos de consumo e negócios podem atingir quase US\$ 3 trilhões (GARTNER, 2017).

O presente trabalho visa o desenvolvimento de uma placa eletrônica, a fim de fazer correções e melhorias ao controlador da Favo Tecnologia, como substituir o módulo controlador ESP-07 e os sensores utilizados na versão anterior, assim como fazer as modificações necessárias no *firmware* desenvolvido pela empresa, para haver compatibilidade com nova placa. Também será feito o conceito e prototipagem de um novo produto, um vaso com o controlador Favo embutido e alimentado através de energia solar.

Outros países como Estados Unidos, Canadá e França, já possuem empresas com iniciativas similares ao conceito proposto neste trabalho, como a Parrot e FlowrMe. Logo, esse trabalho cumpre um propósito acadêmico, com o desenvolvimento de um hardware que será comercializado, e um propósito comercial, desenvolvendo o conceito de produto que poderá entrar no mercado.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é conceber um vaso para cultivo urbano dentro dos conceitos de IoT e alimentado por energia solar.

Para atingir o objetivo geral, temos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um sistema embarcado de telemetria e telecomando, utilizando o microcontrolador ESP8266EX.
- Este sistema deve ser capaz de adquirir dados de sensores de luminosidade, umidade do ar e temperatura, e fazer o acionamento de uma bomba de água.
- Projetar uma antena de circuito impresso para o microcontrolador estabelecer conexão Wi-Fi.
- Produzir uma PCI para prototipagem.
- Adequar o *firmware* já existente para a nova placa eletrônica desenvolvida.
- Desenvolver um sistema de potência para utilizar energia solar para alimentação do sistema.
- Efetuar testes de alcance da antena feita em circuito impresso.

- Elaborar o projeto mecânico, de forma que a estrutura tenha um reservatório de água, um compartimento para substrato de plantas, um compartimento para os componentes eletrônicos e sustentação para a película OPV.
- Fabricar o protótipo final.
- Proporcionar todas as condições básicas para o cultivo de uma planta no vaso prototipado.

1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Este capítulo apresentou o conceito de agricultura urbana e a motivação deste trabalho, além disso foram descritos os objetivos gerais e específicos. No Capítulo 2 é apresentado uma visão geral do sistema da Favo Tecnologia. O Capítulo 3 contém a metodologia utilizada na elaboração do projeto. No Capítulo 4 é apresentada a documentação elaborada na fabricação do protótipo e a implementação do projeto. O Capítulo 5 expõe os resultados obtidos com o trabalho, sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros e para a evolução do produto desenvolvido. E por fim, no Capítulo 6 temos a conclusão do trabalho. No Apêndice, há um breve contexto da empresa fornecedora da película OPV utilizada neste trabalho.

2 VISÃO GERAL DO SISTEMA

O produto desenvolvido neste trabalho poderá ser produzido e comercializado pela Favo Tecnologia, e sua proposta é incentivar o cultivo urbano para pessoas que não possuem conhecimento para cuidar das mais variadas plantas. Será um produto de luxo que pretende mesclar natureza e tecnologia.

No escopo do projeto há três variáveis a serem monitoradas: umidade do ar, temperatura e incidência de luz. O conjunto dos sensores com o microcontrolador compõem um dispositivo que, uma vez instalado no local de cultivo do cliente, coleta os dados lidos pelos sensores e os envia a um servidor, armazenando-os em um banco de dados. Os dados são processados e apresentados ao usuário através de um aplicativo web.

O diagrama mostrado na Figura 2 mostra a visão completa do sistema da Favo Tecnologia com o adendo da alimentação por energia solar. Este trabalho contempla o desenvolvimento de *hardware* desse produto. O *firmware* e a API serão minimamente modificados para serem compatíveis com esse novo produto. Não serão necessárias mudanças no monitoramento em nuvem e interface do aplicativo já desenvolvidos pela empresa.

2.1 ARQUITETURA

O sistema utilizado pela Favo Tecnologia pode ser dividido em blocos, que se comunicam entre si para realizar alguns processos. O controlador realiza a conexão com a internet através da interface Wi-Fi e gerencia os demais processos em baixo nível, como a sincronização do relógio (RTC) e o controle da bomba. O aplicativo faz o interfaceamento entre o usuário e o controlador, permitindo que o cliente realize operações no sistema e também visualize os dados dos sensores. A API é a responsável pelo interfaceamento entre os blocos, contém os métodos usados pelo aplicativo e se comunica diretamente com o banco de dados. Além disso, um servidor MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é utilizado para a comunicação entre as partes do sistema, possibilitando o envio de mensagens estruturadas de um bloco para outro.

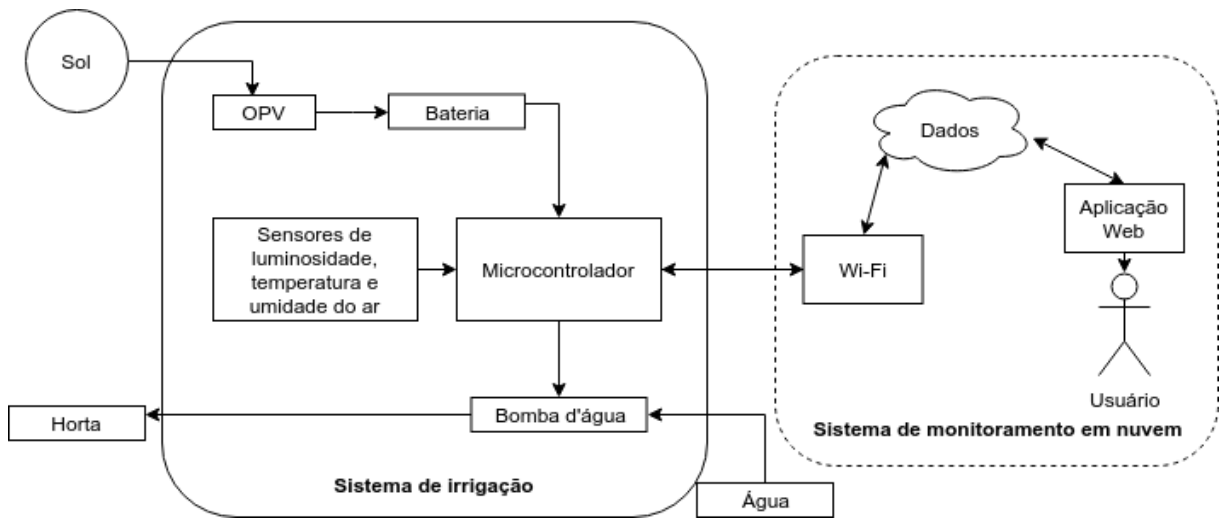


Figura 2: Diagrama de escopo geral do sistema. No quadrado pontilhado, é possível ver o sistema de monitoramento em nuvem, que não será desenvolvido nesse trabalho. No quadrado à esquerda, é mostrado o diagrama do sistema de irrigação.

Fonte: Favo Tecnologia

A visão geral da arquitetura do sistema de monitoramento em nuvem é apresentada no diagrama de blocos da Figura 3, essa imagem mostra todos os componentes que integram a solução da Favo Tecnologia, tanto como sistema embarcado, quanto em alto nível.

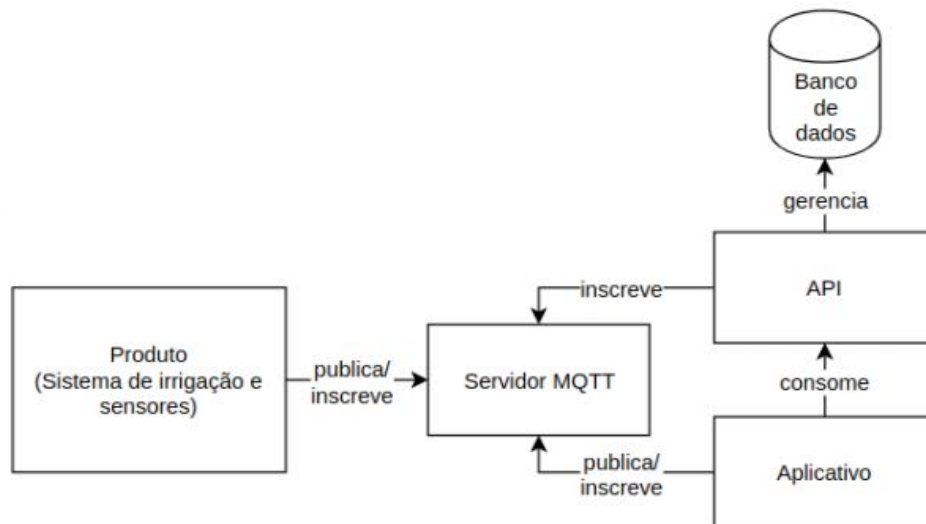


Figura 3: Visão geral da arquitetura do sistema de monitoramento em nuvem. Nessa imagem é possível observar o fluxo das mensagens entre os blocos do sistema de monitoramento em nuvem. Esse diagrama de blocos é referente aos processos para funcionamento do bloco pontilhado na Figura 2.

Fonte: Favo Tecnologia

2.2 FIRMWARE

O *firmware* desenvolvido pela Favo utilizou a interface gráfica Platformio, que é um ambiente integrado de desenvolvimento baseado no editor de texto Atom, desenvolvido especialmente para o desenvolvimento de sistemas IoT (PLATFORMIO, 2014). Foi utilizado o ambiente da plataforma Arduino, isso é possível devido à compatibilidade entre as plataformas fornecidas pelo fabricante do microcontrolador ESP8266EX utilizado neste projeto, a Espressif Systems. Com essa portabilidade foi possível ter um desenvolvimento mais rápido da aplicação, devido às bibliotecas já desenvolvidas e à grande comunidade de desenvolvedores, tornando o acesso a referências e exemplos de utilização facilitados.

A arquitetura deste *firmware* é dividida em duas partes, seguindo o padrão estrutural utilizado no Arduino. No Setup, o programa é responsável por configurar alguns parâmetros necessários para funcionamento do dispositivo, como configuração da comunicação serial, declarar as funções dos pinos utilizados, configurar os tópicos da comunicação MQTT, inicializar o *Real Time Clock* do controlador, e inicializar o modo de operação (AP ou SoftAP, ambos serão discutidos na Seção 2.3).

O Loop é responsável pela leitura contínua dos sensores, verificação do estado da comunicação e verificação da disponibilidade de mensagens nos tópicos inscritos do protocolo MQTT. As função do modo Loop se resumem em atualizar os valores das variáveis na memória volátil do microcontrolador, atualizar o *Real Time Clock* do microcontrolador via Network Time Protocol, publicar os valores dos sensores e informações sobre o estado de operação via rede sem fio e protocolo MQTT, verificar a disponibilidade de mensagens publicadas nos tópicos em que o dispositivo está inscrito, como por exemplo o comando “regar agora”. Mais detalhes sobre o funcionamento do aplicativo e sobre o protocolo MQTT serão dados nas Seções 2.6 e 2.4, respectivamente.

2.3 CONEXÃO COM A INTERNET

A conexão do controlador com a internet é feita utilizando dois modos: SoftAP e Station. No modo SoftAP, o aparelho se comporta como um ponto de acesso, isto é, ele disponibiliza sua própria rede Wi-Fi para que outros dispositivos possam se conectar a ele. Já o modo Station é utilizado para que o aparelho possa se conectar a uma rede Wi-Fi, possibilitando o acesso do dispositivo à internet.

Para realizar a sincronia do dispositivo com a internet, o usuário deve se conectar ao

controlador, quando este estiver em modo SoftAP, etapa ilustrada na Figura 4. Será enviado para o usuário uma lista das redes Wi-Fi disponíveis, então o usuário deve passar as credenciais de uma das redes - essa etapa pode ser visualizada na Figura 5. Uma vez que o dispositivo testou a conexão com a rede sem fio local e obteve sucesso, ele deixa de se comportar como um ponto de acesso, e muda para o modo Station, etapa ilustrada na Figura 6. Em modo Station, caso o dispositivo verifique a falta de conexão com a rede Wi-Fi por um tempo superior a dois minutos, ele retorna ao modo de operação ponto de acesso (SoftAP) e continuamente tenta se reconectar à rede configurada anteriormente pelo usuário.

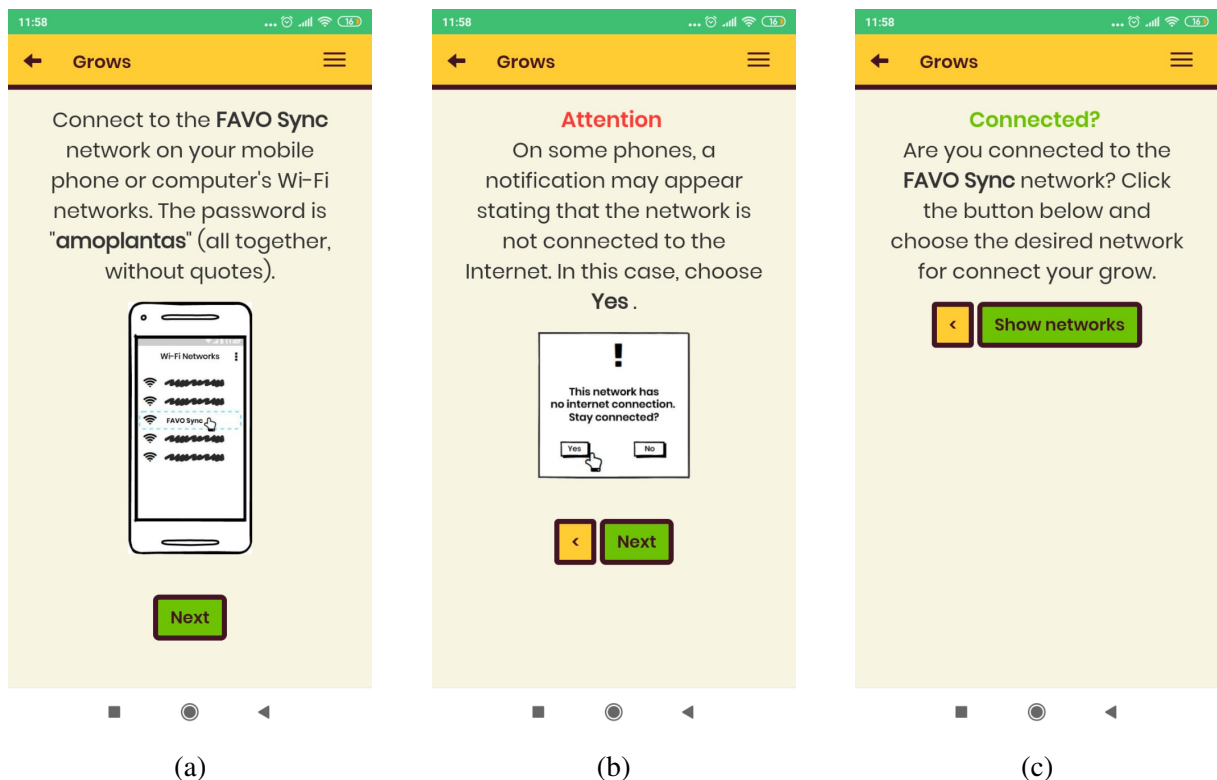


Figura 4: Telas de instruções para sincronia em inglês. A Figura (a) é uma tela de instruções gerais para o usuário, o informando para se conectar na rede do dispositivo (FAVO Sync), e informando a senha dessa rede. Na Figura (b) temos uma tela de aviso, para o caso de o *smartphone* do usuário identificar que ele se conectou à uma rede sem conexão com a internet. Na Figura (c) temos a tela para certificar que o usuário se conectou à rede Favo Sync.

2.4 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO MQTT

O protocolo de transporte telemétrico de filas de mensagens (Message Queuing Telemetry Transport - MQTT) é um protocolo de envio de mensagens, com base na pilha TCP/IP, que utiliza um modelo de inscrição em tópicos e publicação de mensagens (LIGHT, 2018). São definidos dois tipos diferentes de entidades: o *broker* de mensagens, que recebe



Figura 5: Tela de seleção de rede Wi-Fi em inglês. Na Figura (a) temos a tela que lista as redes ao alcance do dispositivo. Na Figura (b) podemos ver a janela para inserção de senha da rede selecionada.

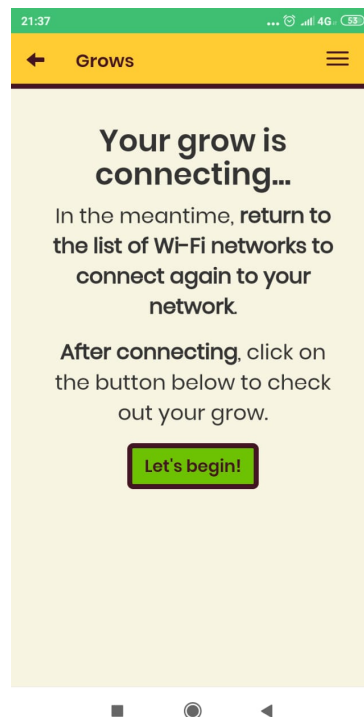


Figura 6: Tela exibida quando o processo de sincronia é bem sucedido, em inglês.

mensagens de diferentes clientes e as encaminha aos clientes de destino; e os clientes, que publicam as mensagens no *broker* (YUAN, 2017).

Yuan (2017) dividiu o funcionamento do MQTT em três etapas:

1. O cliente se conecta ao *broker* e pode se inscrever no tópico de que deseja receber mensagens;
2. Para enviar uma mensagem, o cliente a publica em um tópico, enviando ao *broker* a mensagem e o tópico;
3. O *broker* encaminha a mensagem a todos os clientes que estão inscritos nesse tópico.

Por ser um protocolo de mensagens assíncrono, leve e flexível, o MQTT é utilizado por padrão em sistemas embarcados IoT, pois permite um funcionamento adequado mesmo em redes com banda limitada e alta latência.

No sistema desenvolvido pela Favo Tecnologia, o MQTT é utilizado para enviar mensagens de verificação de conexão, comandos do usuário e informações de sensores do dispositivo para a aplicação. Para isso, há diferentes tópicos em que se inscrevem o *hardware*, a API e o aplicativo. São cinco tópicos específicos, um para uma funcionalidade do aplicativo: "Regar agora", onde a bomba d'água é acionada pelo comando do usuário; o agendamento de horários de rega; a habilitação ou desabilitação da irrigação, seja pelo agendamento ou pelo "Regar agora"; um tópico para a verificação da conexão do dispositivo com a internet; e por último o tópico para publicação e leitura dos valores dos sensores. Esses tópicos estão listados a seguir:

1. "pumpNow- utilizado para o comando de rega imediata da horta;
2. "schedules- utilizado para o registro de horários de irrigação;
3. "pumpEnabled- para o comando de habilitar ou desabilitar a irrigação automática;
4. "heartbeat- para que o microcontrolador envie mensagens periódicas confirmando que está conectado;
5. "sensors- utilizado para envio dos dados dos sensores.

Uma vez que o protocolo MQTT aceita qualquer formato no conteúdo da mensagem, foi definido como padrão para este projeto o formato de lista de objetos JSON. Cada objeto é composto por um par de nome e valor seguido por vírgula, separados por dois pontos, e a lista começa e termina com chaves - de maneira que a lista tem o seguinte formato: (início) { nome1:valor1, nome2:valor2: ...} (fim). (CROCKFORD, 2018)

2.5 INTERFACE DE PROGRAMAÇÃO

A API do sistema é escrita utilizando Ruby on Rails, e foi construída seguindo o padrão de arquitetura de software MVC (*ModelView-Controller*). Ruby on Rails é um *framework* que visa facilitar o desenvolvimento web evitando a repetição de código e utilizando convenções para agilizar a programação. David Heinemeier Hansson, um parceiro e programador da empresa de desenvolvimento de aplicativos *37signals*, projetou o Rails extraindo vários recursos do *Basecamp*, um gerenciador de projetos baseado em Ruby. O Rails transformou o Ruby, uma linguagem de programação de uso geral, em uma solução específica para criar aplicações Web (GEER, 2009).

A arquitetura MVC não é exclusiva do Rails, é na verdade muito anterior ao Rails e a linguagem Ruby, sendo discutido já nos anos 70 (JAOO, 2003). O MVC é um padrão para a arquitetura de software. Ele separa um aplicativo nos seguintes componentes: modelos para manipulação de dados e lógica de negócios (*Models*), controladores para manipular a interface do usuário e o aplicativo (*Controllers*), e visualizações para manipular objetos e apresentação da interface gráfica com o usuário (*Views*). Essa separação resulta em solicitações do usuário sendo processadas da seguinte maneira (GOODRICH, 2017):

- O navegador (no cliente) envia uma solicitação para uma página ao controlador no servidor.
- O controlador recupera os dados necessários do modelo para responder à solicitação.
- O controlador fornece os dados recuperados para a exibição.
- A exibição é gerada e enviada de volta ao cliente para o navegador exibir.

Nessa aplicação os *models* representam as informações armazenadas no banco de dados, que são o login dos usuários e permissões, dispositivos, dados dos sensores e agendamento de horários. Os *controllers* são responsáveis principalmente por formatar os pacotes que serão enviados ao aplicativo ou ao controlador através do servidor MQTT, adicionando os parâmetros corretos e fazendo operações no banco de dados.

2.6 APLICATIVO

O aplicativo que serve como interface do sistema com o usuário, foi desenvolvido no formato de uma aplicação *web*, que pode ser acessada por um aplicativo navegador de internet.

As páginas Web acessadas pelo usuário são escritas em HTML e Ruby Embarcado (ERB). Utilizando a biblioteca ERB, os trechos de código em Ruby são escritos no próprio arquivo HTML, dentro de tags apropriadas (Ruby Documentation, 2017). Dessa forma, é possível utilizar expressões, que são substituídas pelo seu resultado em formato de *String* quando a página é gerada; e também *scripts*, que permitem incorporar laços e condicionais à página (ELLIS, 2016). Nesse projeto, os códigos embarcados em Ruby são utilizados principalmente para a geração em paralelo de diversos elementos das páginas, como as janelas modais que aparecem quando o usuário clica em determinados botões.

Além disso, é utilizada a biblioteca *Vue.js*, um *framework* de JavaScript que possibilita a geração declarativa de dados, ou seja, o uso de variáveis dentro da página HTML. Um exemplo da utilização dessa biblioteca é apresentado na Figura 7.

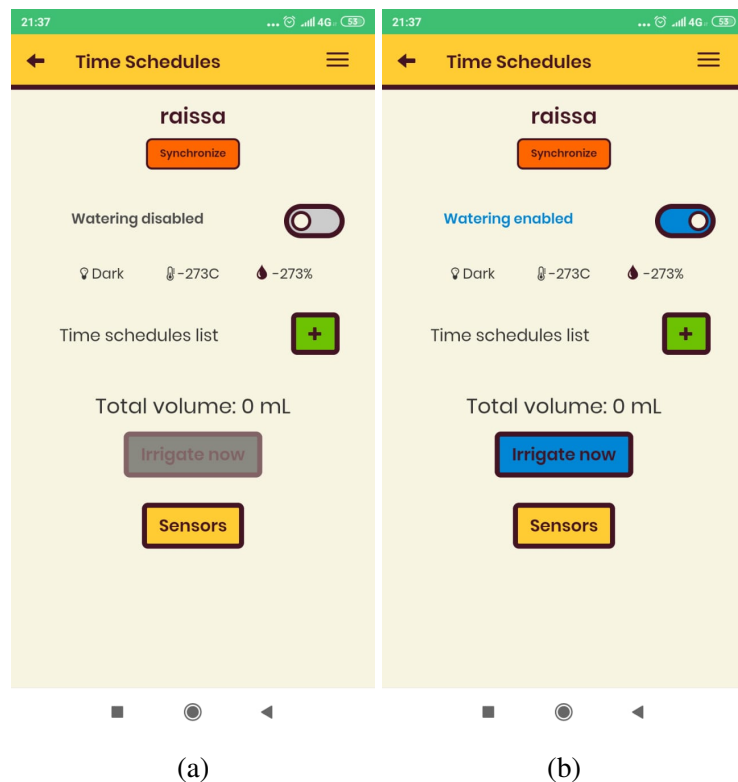


Figura 7: Interação do botão “Regar agora” com o estado do botão tipo *toggle*. Na Figura (a) temos a tela que aparece quando a irrigação está desabilitada (botão fica inativo), e na Figura (b) temos a tela que aparece quando a irrigação está habilitada (botão fica ativo, indicado pela cor azul).

As páginas possuem chamadas de métodos escritos em arquivos à parte, em JavaScript. Os métodos são responsáveis por fazer a comunicação com a API, além de enviar e receber mensagens do servidor MQTT. A parte visual da aplicação foi desenvolvida em SASS (do inglês: Folhas de Estilo Sintaticamente Incríveis), uma linguagem que é interpretada para CSS quando o código é compilado. O SASS possui características que visam facilitar a escrita e

tornar o código mais legível, como o aninhamento de classes CSS e a criação de variáveis.

3 PROJETO

O projeto pode ser separado em duas grandes partes, eletrônica e mecânica. No projeto eletrônico da PCI (placa de circuito impresso) foi planejado fazer um acionamento CC, para controle da bomba de água; um acionamento CA, para o controle de luz; e o dimensionamento da antena Wi-Fi. Para projeto mecânico a prioridade foi para a funcionalidade, e um design de fácil prototipação.

3.1 PROJETO ELETRÔNICO

Na versão anterior da placa eletrônica, é utilizado o módulo controlador ESP-07. A utilização desse módulo dificultava o controle de qualidade dos produtos, por ter diversos fabricantes, e impossibilitava a expansão da memória, o que limitava o desenvolvimento do firmware. Essas foram as principais razões para o desenvolvimento de uma nova eletrônica.

O software EDAS utilizado para criação da placa eletrônica foi o KiCAD, por ser um programa de código aberto e de fácil utilização para a concepção de *layouts* e visualização em três dimensões da PCI. A placa eletrônica do controlador Favo foi desenvolvida com componentes que poderiam ser facilmente comprados para prototipagem e produção em pequena escala no Brasil.

São requisitos deste sistema:

- Estabelecer conexão com a internet.
- Fazer a leitura da temperatura, umidade ambiente e luminosidade.
- Fazer o acionamento da bomba d'água.

Na Figura 8, temos o diagrama de blocos do projeto eletrônico. Os blocos fora do quadrado pontilhado não estão contidos no projeto da placa eletrônica, e se referem à aquisição e tratamento da energia solar para alimentação do circuito. A energia solar será transformada em

energia elétrica através de um filme orgânico fotovoltaico flexível (OPV). Após essa conversão, a energia elétrica será tratada por um controlador de carga, que irá disponibilizar energia para uma bateria, que por fim irá alimentar o sistema.

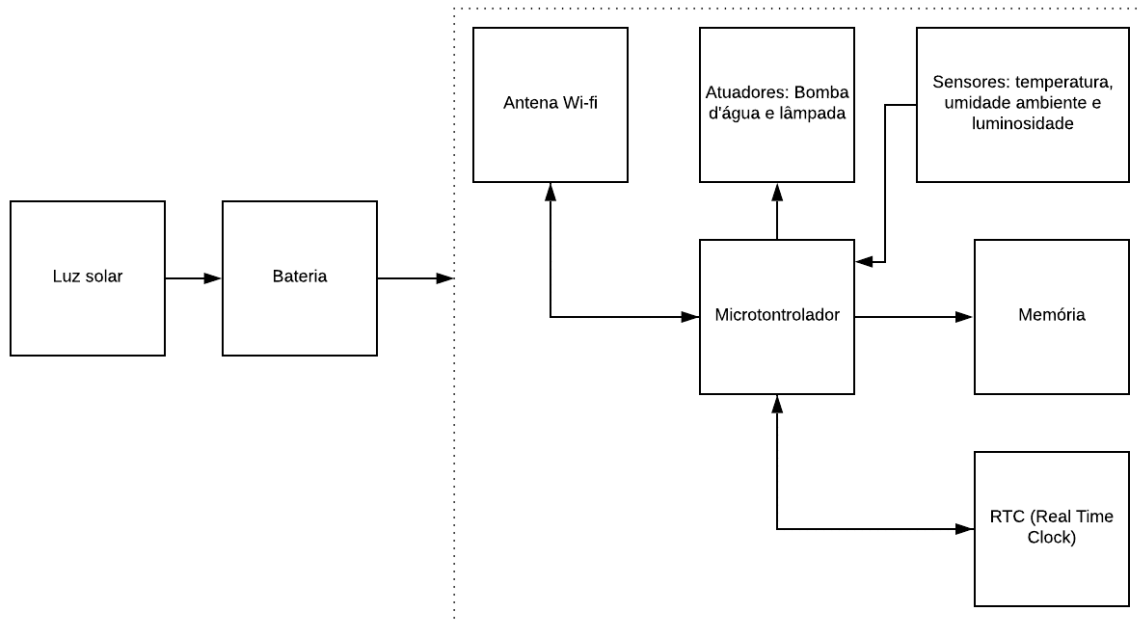


Figura 8: Diagrama de blocos do projeto eletrônico. Os blocos contidos no quadrado pontilhado estão contidos no projeto da placa eletrônica.

O microcontrolador escolhido para este projeto foi o ESP8266EX, embora tenha muitas vantagens na utilização deste circuito integrado, ele não tem memória de programação interna sendo necessária a utilização de uma memória externa, indicada no bloco memória da Figura 8. Na Seção 3.1.1 esse assunto será discorrido com maiores detalhes.

Embora no diagrama da Figura 8 haja indicado o bloco RTC, e no bloco de atuadores há o acionamento de lâmpada, essas funcionalidades não serão abordadas neste trabalho. Estes blocos foram projetados para futuramente serem adicionadas funcionalidades extras ao sistema.

3.1.1 NÚCLEO PRINCIPAL

O ESP8266EX foi projetado pela empresa chinesa Espressif e é produzido pela empresa Ai-Thinker. Este microcontrolador oferece uma solução de rede Wi-Fi completa e autossuficiente, com pilha TCP/IP integrada e por um custo baixo. Ele pode funcionar em dois modos, AP (*Access Point*) e Station. Em suma, o modo AP permite que ele crie sua própria rede e tenha outros dispositivos (um smartphone, por exemplo) conectados a ele e o modo Station permite que o ESP8266EX se conecte a uma rede Wi-Fi. Assim, uma característica importante

sobre o ESP8266EX é que ele pode funcionar como um cliente ou como um ponto de acesso (KUMAR, 2016).

Este microcontrolador pode ser programado para atuar em modos para economia de energia (*modem-sleep*, *light-sleep*, e *deep-sleep*), o que para uma aplicação utilizando energia solar se torna uma característica muito útil. Além disso tem memória cache ultra-rápida integrada, o que aumenta sua performance e otimiza o uso de memória do sistema (Espressif Systems, 2018).

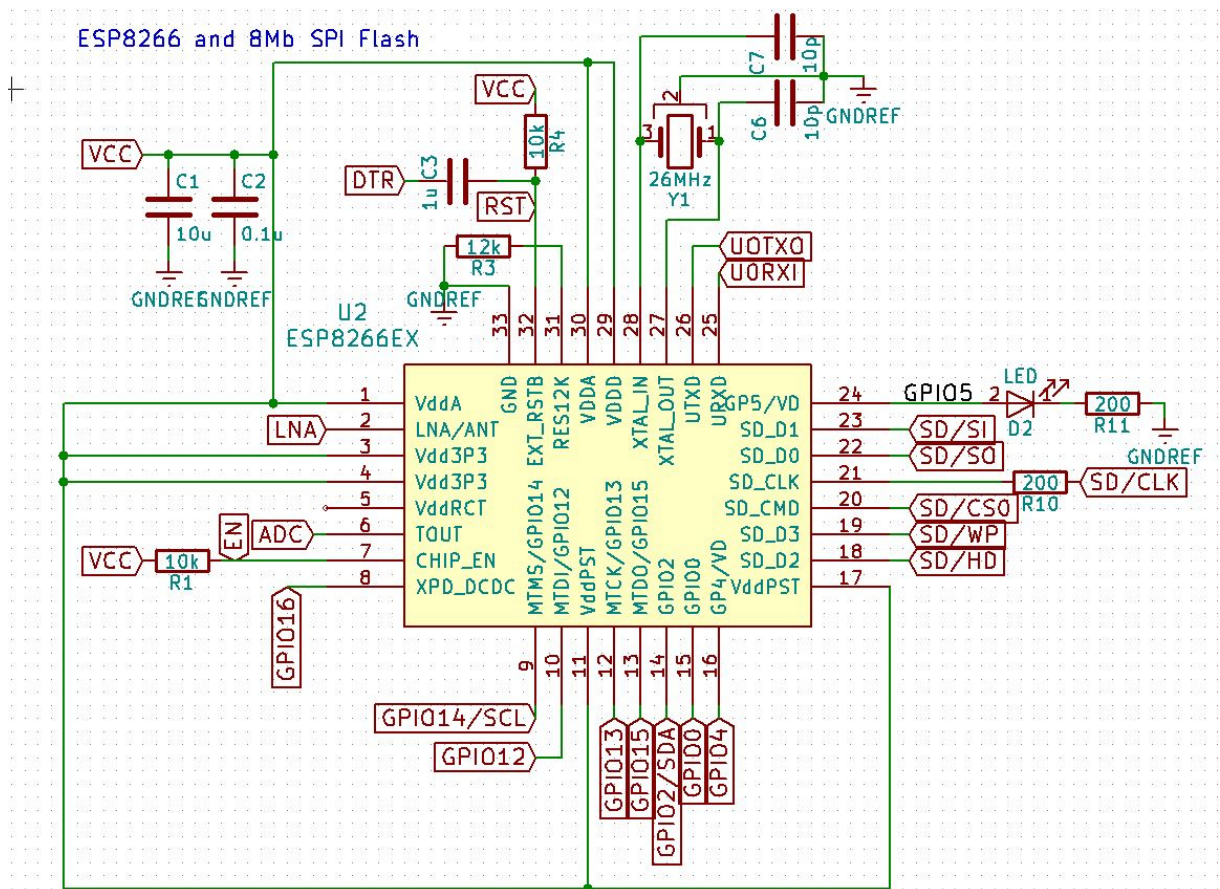


Figura 9: Diagrama esquemático do microcontrolador e circuitos auxiliares. Este esquema inclui os circuitos de reset e geração de *clock* para a CPU.

A Figura 9 mostra o circuito do ESP8266EX no diagrama esquemático do projeto, os circuitos auxiliares mostrados são requisitos para o funcionamento correto do microcontrolador, como a utilização do cristal de 26 MHz para geração de *clock*, e circuitos de *pull-up* e *pull-down* ativação do modo de programação. Na Figura 10 há o circuito para aplicação de antena, todos estes circuitos foram baseados nas recomendações do fabricante no manual do circuito integrado (Espressif Systems, 2018).

A memória escolhida foi a memória flash AT25SF081, da fabricante Adesto, com 8 Mb de capacidade de armazenamento e comunicação SPI. Foi necessário este tamanho de memória

para ser possível fazer atualizações de *firmware* via OTA (*Over the air transference*), que faz a atualização do sistema transferindo dados utilizando a rede Wi-Fi. Neste tipo de atualização de software é necessário duas vezes mais memória do que o tamanho do programa, isso porque o contexto a ser apagado precisa ser salvo em uma parte da memória, para que acaso ocorra algum erro durante a transferência dos dados, o microcontrolador possa voltar à versão anterior de *firmware*. As conexões entre o ESP8266EX e a memória flash são simples, apenas conectando os pinos necessários para a comunicação SPI e a alimentação do chip.

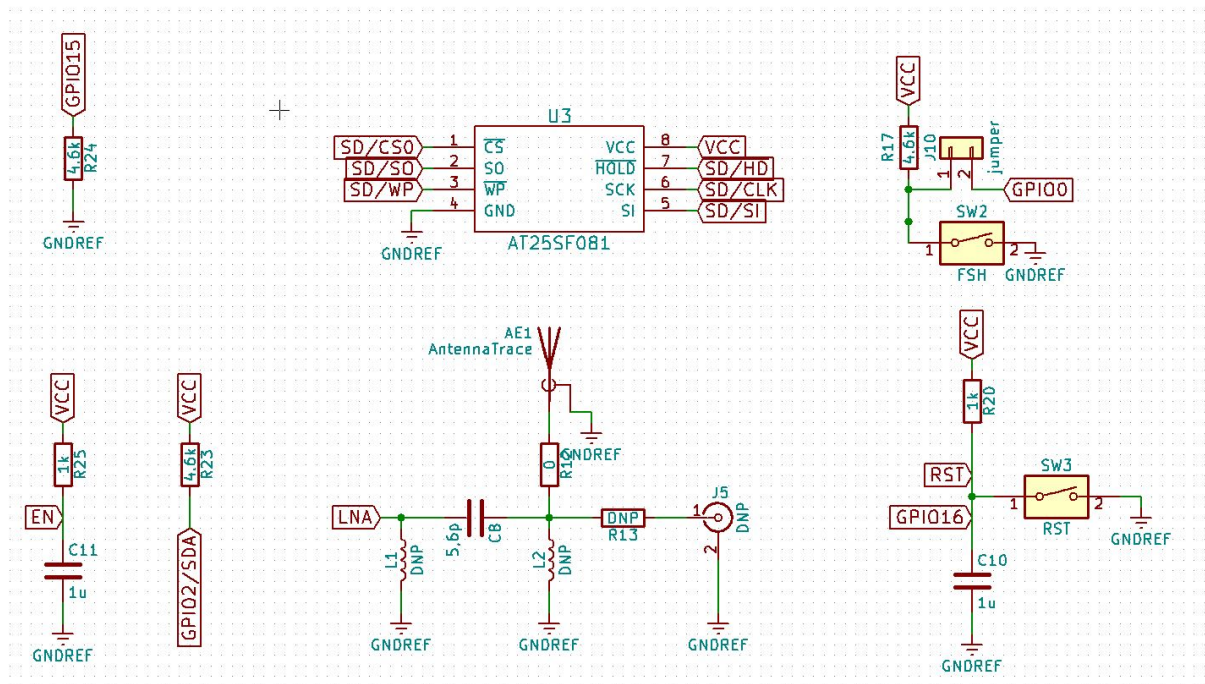


Figura 10: Diagrama esquemático da memória flash, antena e circuitos de *boot*. Os botões SW2 e SW3 fazem parte do circuito para ativação do modo *boot* manual. Os circuitos envolvendo os terminais GPIO0, GPIO2/SDA e EN são baseados nas especificações da Espressif para o funcionamento adequado do microcontrolador. O circuito com o terminal LNA é referente a antena impressa e a antena externa.

Na Figura 10 é possível ver dois circuitos com botões, um que se apertado leva o terminal GPIO0 para nível baixo, e outro que se apertado leva os terminais GPIO16 (XPD_DCDC) e RST (*reset*) para nível baixo, estes botões quando apertados em sequência fazem o ESP8266EX entrar em modo de programação. Nessa placa também foi feito um circuito, mostrado na Figura 11, para substituir a necessidade da utilização destes botões, utilizando o pino DTR (*Data Terminal Ready*) do microcontrolador. Desse modo, um sinal externo faz com que o ESP8266EX se desligue e ligue novamente, e um capacitor de 1uF conectado ao DTR atrase o sinal de forma que o microcontrolador entre em modo programável. Foi feita essa redundância de circuitos no projeto pelo fato de não ter sido possível testar o funcionamento do modo auto-programável antes da prototipagem.

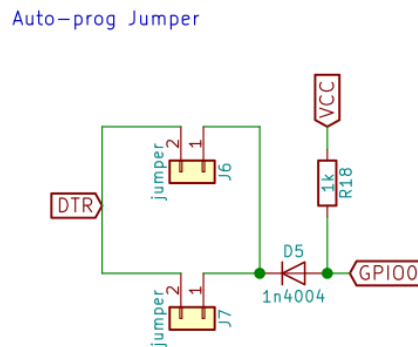


Figura 11: Diagrama esquemático do modo programável automático. Os *jumpers* adicionados a este circuito garantem o isolamento dessas conexões do resto do circuito, permitindo que seja possível entrar em modo *boot* manualmente.

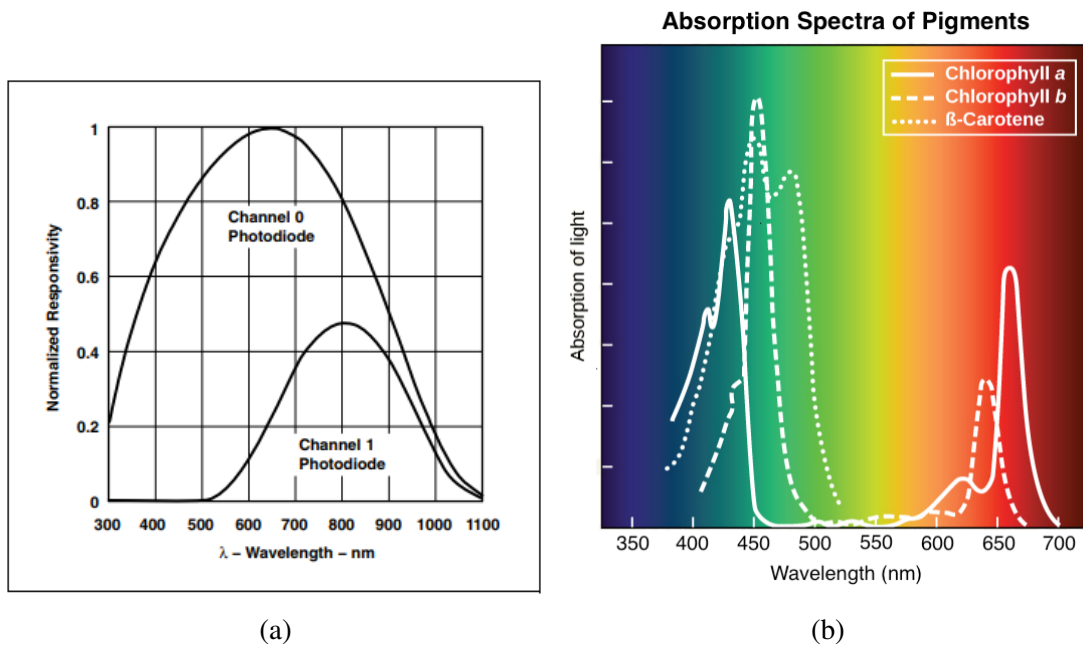
3.1.2 ANTENA WI-FI

No módulo controlador ESP-07, utilizado anteriormente na placa eletrônica do controlador Favo, havia uma antena de cerâmica embutida. Para este projeto foi esquematizado o desenho de uma antena em circuito impresso, e por redundância foram feitas também as conexões para se utilizar uma antena externa com conector *pigtail*. O diagrama esquemático do circuito referente à antena pode ser visto na Figura 10, os componentes referentes à antena externa estão com valores DNP. O acrônimo DNP (do inglês, Não Coloque), significa que a peça não será colocada na montagem da placa. Essas partes não serão montadas em um primeiro momento por não ser possível utilizar as duas antenas ao mesmo tempo. Caso seja necessário utilizar a antena externa, deve ser retirado o resistor R12 que liga o pino LNA à antena impressa na placa, e montados os componentes L1, L2, R13 e J5.

3.1.3 SENSOR DE LUMINOSIDADE AMBIENTE

Para a medição da luminosidade, o sensor escolhido foi o TSL2561, que é um conversor *light-to-digital* (luz para digital) de baixo custo fabricado pela AMS. Sua fabricação combina dois fotodiodos, um com sensibilidade a luz visível e infra-vermelha em um canal, e outro que se sensibiliza apenas com infra-vermelha. A resposta espectral do sensor devido aos dois fotodiodos está descrita no gráfico da Figura 12a.

Este sensor utiliza interface I2C para comunicação com o microcontrolador, tem resolução de 16 bits, e um conversor analógico-digital para cada canal. Estes conversores medem a corrente de saída de cada fotodiodo, e essa corrente corresponde a irradiância medida em cada canal (AMS, 2018).



(a) Fonte: (AMS, 2018)

(b) Fonte: (OPENSTAX, 2015)

Figura 12: Comparação da resposta espectral do sensor TSL2561 com o espectro de absorção de três pigmentos chave para a fotossíntese. Na Figura (a) pode ser observada a resposta espectral no sensor TSL2561. Na Figura (b) há o gráfico da absorção ótima da luz que ocorre em diferentes pigmentos. Comparando os dois gráficos é possível identificar que o sensor garante que os comprimentos de onda mais absorvidos pelos três pigmentos serão considerados.

A saída deste sensor deve ser interpretada pelo microcontrolador utilizando uma fórmula que foi obtida pela AMS (2018) de forma empírica, resultando em valores em lux, unidade de medida de luminosidade do sistema internacional (unidade lx). Para essa conversão é utilizada a Equação 1:

$$Lux = \begin{cases} 0,0304 CH0 - 0,062 CH0(CH1/CH0)^{1,4} & , \text{ para } 0 < CH1/CH0 \leq 0,50 \\ 0,0224 CH0 - 0,031 CH1 & , \text{ para } 0,50 < CH1/CH0 \leq 0,61 \\ 0,0128 CH0 - 0,0153 CH1 & , \text{ para } 0,61 < CH1/CH0 \leq 0,80 \\ 0,00146 CH0 - 0,00112 CH1 & , \text{ para } 0,80 < CH1/CH0 \leq 1,30 \\ 0 & , \text{ para } CH1/CH0 \geq 1,30 \end{cases} \quad (1)$$

Para adicionar este sensor ao *layout* da placa desenvolvida neste projeto, foram seguidas à risca as recomendações do fabricante para a aplicação deste *hardware* (AMS, 2018, p. 25), que eram basicamente resistores de *pull-up* para manter o barramento I2C (SCL e SDA) e o pino de interrupção (INT) com nível alto, quando as linhas estiverem livres, e um capacitor de desacoplamento na alimentação do sensor, posicionado perto do circuito integrado na placa.

3.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE AMBIENTE

Visando o melhor custo-benefício para o produto, para a medição da temperatura e umidade ambiente, o sensor utilizado foi o DHT22, fabricado pela Aosong Electronics. Como para o controle e auxílio no cuidado de plantas não é necessário uma alta precisão, este sensor serve muito bem para o propósito, além da implementação da sua leitura e controle ser fácil por ser amplamente utilizado. O DHT22 é um sensor digital de 8 bits, sendo que todo sensor deste modelo é testado e calibrado para fazer compensação de temperatura, e o coeficiente de calibração obtido destes testes é salvo na memória OTP contida no sensor. Apresenta baixo consumo de energia e utiliza comunicação *I-wire*. Para a medição de umidade tem variação de 0 a 100% de UR (umidade relativa) com erro máximo de $\pm 5\%$. Para a medição da temperatura tem funcionamento de -40°C a 80°C , com erro máximo de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (Aosong Electronics Co., 2018).

O diagrama esquemático para o uso deste componente é muito simples, a única recomendação feita pelo fabricante é dispor um resistor de *pull-up* na linha de dados. Na Figura 13 estão dispostos os diagramas esquemáticos dos sensores utilizados.

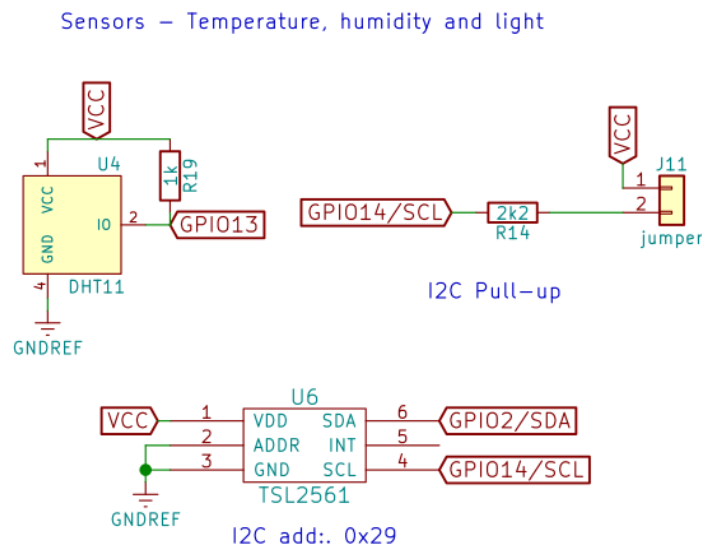


Figura 13: Diagrama esquemático dos circuitos dos sensores TSL2591 e DHT22. Para o DHT22 foi utilizado o terminal GPIO13 para estabelecer a comunicação *I-wire*. Para o TSL2561 foram utilizados terminais reservados para a comunicação I2C, GPIO2/SDA e GPIO14/SCL. Além disso, há também um circuito de pull-up de um terminal utilizado para a comunicação I2C.

3.1.5 ACIONAMENTOS

Foram projetados dois *drivers* de potência, um em CC para acionamento da bomba de água, e um em CA genérico de 2000W com o objetivo de disponibilizar um controle de luz, embora este ainda não esteja disponível no aplicativo.

A bomba d'água utilizada é de fabricação chinesa, do tipo sem escova (*brushless*), com encapsulamento em plástico e muito compacta, deve ser utilizada submersa em água. As especificações deste componente podem ser vistas na Tabela 1. O diagrama esquemático dos acionamentos pode ser visto na Figura 14.

Tabela 1: Especificações da bomba d'água AD20P.

Tensão mínima [V]	3
Corrente máxima [mA]	400
Potência máxima [W]	4,8
Altura máxima [m]	3
V _{max} [V]	18
Vazão máxima [L/h]	240

Fonte: Giant

AC and DC drives

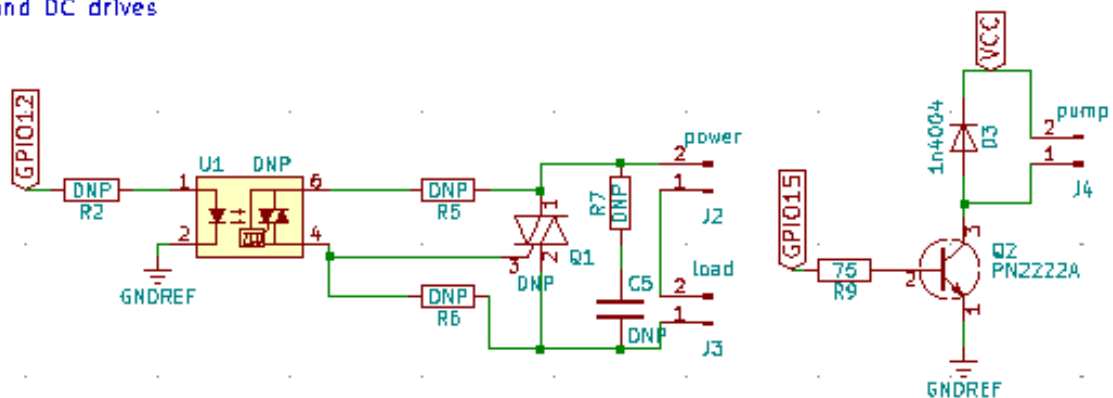


Figura 14: Circuito de acionamentos CA e CC. À esquerda visualiza-se o circuito de acionamento CA pelo terminal GPIO12 do microcontrolador e à direita o circuito de acionamento CC pelo terminal GPIO15.

Não foi planejada a utilização do acionamento CA em um primeiro momento, por este motivo, os valores dos componentes do circuito deste driver estão como DNP.

3.2 OPV (*ORGANIC PHOTOVOLTAIC CELL*)

Uma célula fotovoltaica orgânica (OPV) é um tipo de célula solar de polímero que usa a eletrônica orgânica, para absorção de luz e transporte de cargas elétricas na produção de eletricidade pelo efeito fotovoltaico. O produto, por ser flexível, pode cobrir estruturas e objetos possibilitando a geração de energia em qualquer superfície que receba luz do sol - vide a Figura 15 que mostra um prédio todo revestido pelo produto. São consideradas como tecnologia solar fotovoltaica de terceira geração por ter utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único band-gap eletrônico, como placas solares de silício (CABRAL, 2016).

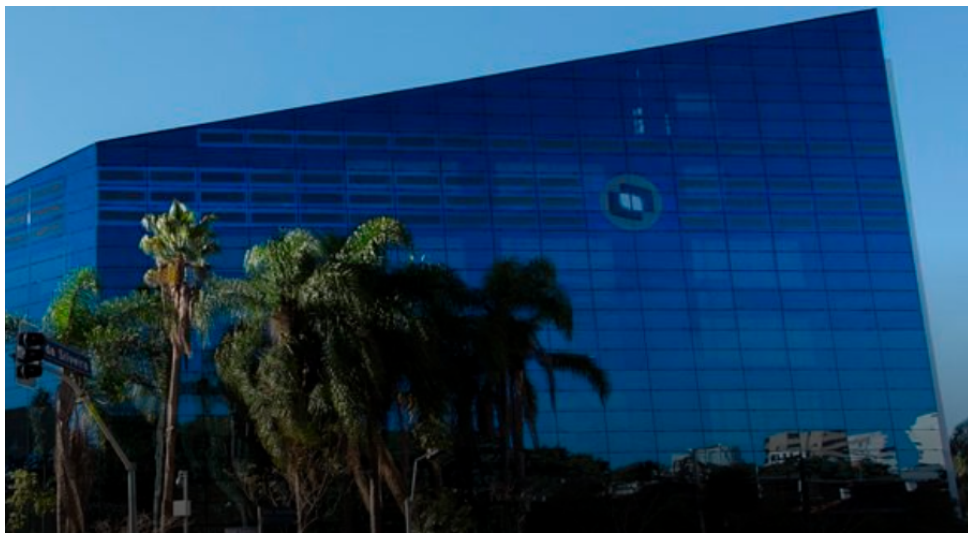


Figura 15: Prédio da TOTVS todo revestido por películas fotovoltaicas orgânicas.

Fonte: <https://sunew.com.br/en/cases/sede-totvs/>

Dispositivos IoT partem da premissa de serem móveis e eficientes energeticamente. A tecnologia de células fotovoltaicas orgânicas flexíveis facilita que estes dispositivos conectados possam alimentados por energia solar, tanto por ser aplicável em qualquer *design*, quanto por não perderem eficiência devido ao ângulo de incidência da luz nas células fotovoltaicas quando comparadas as placas tradicionais de silício.

Como essa tecnologia permite qualquer tamanho de filme, foi enviado pelo fabricante um quadro de exemplo com as especificações de um filme de 538x530mm, mostrados na Tabela 2.

Para dimensionar a área de película fotovoltaica necessária para alimentar o vaso autônomo foi necessário medir a quantidade média de corrente utilizada com o controlador em modo ativo e em modo *deep sleep*, modos em que o microcontrolador irá ser utilizado, e com o acionamento da bomba ligado. Por serem utilizados um controlador de carga e uma

Tabela 2: Especificações do filme fotovoltaico produzido pela SUNEW.

Comprimento [mm]	538
Largura [mm]	530
Potência [Wp]	6,34
Voc [V]	26,1
Vmax [V]	18
Icc [mA]	528
Imax [mA]	352

Fonte: Dados disponibilizados privadamente pela empresa SUNEW.

bateria, não foram considerados o consumo de pico para estes cálculos.

Foi medido que o consumo médio de corrente com o controlador em modo ativo 12 horas por dia e em modo *deep sleep* 12 horas é de 100 mA. Com a bomba acionada o consumo médio é de 500 mA. Com essas medidas foi definido que o consumo no dispositivo com o acionamento ativo é de 36 Wh/dia, e 7,2 Wh/dia sem acionamento. Com os dados de utilização dos dispositivos dos clientes da Favo Tecnologia, foi possível descobrir que os clientes ficam com a irrigação ligada em média 15 minutos por dia. Além disso, em dias nublados e durante a noite praticamente não há utilização de irrigação pelos usuários. Essas informações foram passadas para o fabricante da película, que retornou a informação que deveria ser adotado um consumo médio de 6,4 Wh/dia. Para suprir essa especificação é necessário a utilização de quatro painéis de 530x157mm, cada painel com essas dimensões possui capacidade de 1,6 Watt-pico.

Além do dimensionamento da área de filme fotovoltaico, foi necessário escolher uma bateria e um controlador de carga adequados para o projeto. Para a escolha da bateria o ponto mais considerado foi a durabilidade e o fornecimento de corrente necessário para a bomba de água. Depois de analisar os produtos disponíveis no mercado, foi concluído que a bateria com melhor custo benefício para o projeto era uma do tipo NiMH (níquel-metal-hidreto), 3,7 V de tensão nominal e 2800 mAh de capacidade de corrente nominal, fabricada pela KPCELL. Este tipo de bateria é conhecida pela sua grande durabilidade, suportando cerca de 4000 ciclos de carga e descarga.

O controlador de carga é necessário para carregar corretamente a bateria, já que a tensão advinda de painéis solares normalmente é oscilante e pode apresentar grandes picos. Foi optado por um controlador de carga comercial por ser um produto amplamente utilizado e apresentar baixo custo. As especificações procuradas foram entrada de 12 V nominais para abastecer uma bateria de 3,7 V, com capacidade para 3 Amperes. O controlador escolhido é fabricado pela Mars Rock Solar com essas exatas especificações.

4 IMPLEMENTAÇÃO

Esse capítulo documenta todos os processos feitos para a confecção do protótipo do vaso IoT para plantas, desde a produção da placa eletrônica até os testes de funcionamento e o protótipo final.

4.1 LAYOUT DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

A PCI foi projetada utilizando o programa KiCAD, que é um software livre, que possui editor de esquemático e de placa de circuito, bibliotecas com símbolos de componentes e *footprints* para PCIs, gera a lista de materiais (BOM, arquivos para fabricação e visualização 3D. Durante o projeto da placa foram priorizados os seguintes aspectos:

- Utilização tanto quanto possível do plano BOTTOM para ligação com o GND, implementando um plano de terra;
- Separação física entre trilhas CA e CC;
- Utilização de trilhas com o menor comprimento possível para os barramentos de memória, seguindo todas as recomendações da fabricante (Adesto Tech, 2018).
- Disposição de todos os componentes SMT de um lado da placa, e do outro todos os componentes THT para baratear a produção industrial;
- PCI com dimensões pequenas.

Além dos cuidados listados acima, um grande desafio do *layout* dessa placa foi o desenho da antena. Para isso foi seguido à risca um guia de aplicação desenvolvido pela Texas Instruments para o desenho de uma antena F invertida de 2,4 GHz, ilustrada na Figura 16 e com suas medidas especificadas da Tabela 3. Segundo os resultados dos testes mostrados no guia de aplicação da TI, a IFA tem bom desempenho em todas as frequências ISM. Os principais resultados desses testes podem ser observados na Tabela 5.

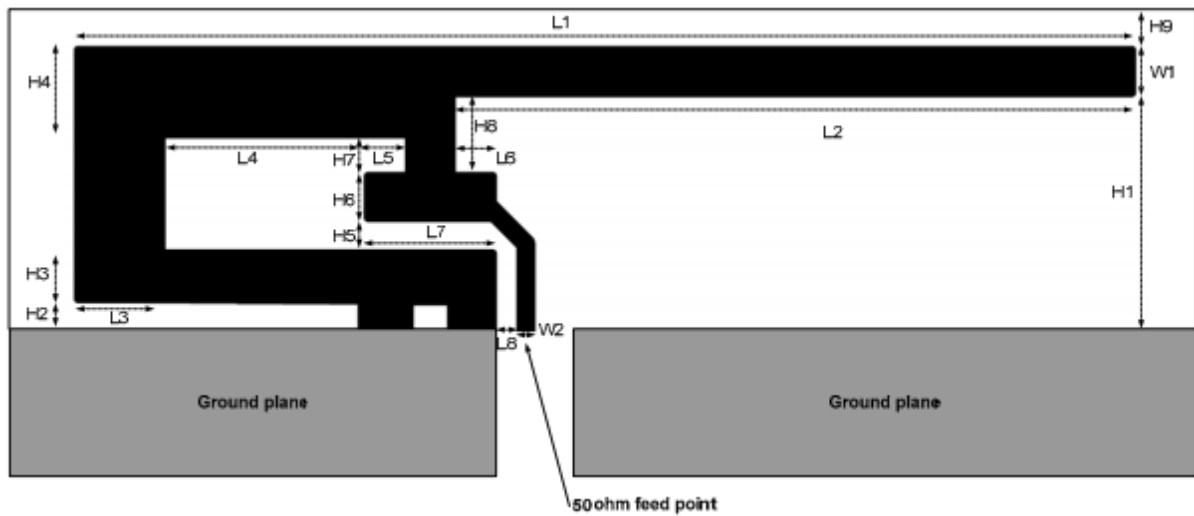


Figura 16: Ilustração da antena F invertida. Nessa imagem é mostrado as cotas das dimensões da antena.

Fonte: (Texas Instruments, 2008)

Tabela 3: Especificações do tamanho das cotas da antena F invertida.

H1	5.70 mm	W2	0.46 mm
H2	0.74 mm	L1	25.58 mm
H3	1.29 mm	L2	16.40 mm
H4	2.21 mm	L3	2.18 mm
H5	0.66 mm	L4	4.80 mm
H6	1.21 mm	L5	1.00 mm
H7	0.80 mm	L6	1.00 mm
H8	1.80 mm	L7	3.20 mm
H9	0.61 mm	L8	0.45 mm
W1	1.21 mm		

Fonte: (Texas Instruments, 2008)

Tabela 4: Resumo das propriedades da IFA.

Ganho no plano XY [mm]	1.1 dB
Ganho no plano XZ	3.3 dB
Ganho no plano YZ	1.6 dB
Reflexão	< -5 dB
Tamanho da antena	25.7 x 7.5 mm

Fonte: (Texas Instruments, 2008)

Nas Figuras 17, 18 e 19 temos o resultado do projeto de *hardware*, uma placa de duas camadas com sua vista superior (TOP), inferior (BOTTOM) e o modelo em 3D, respectivamente.

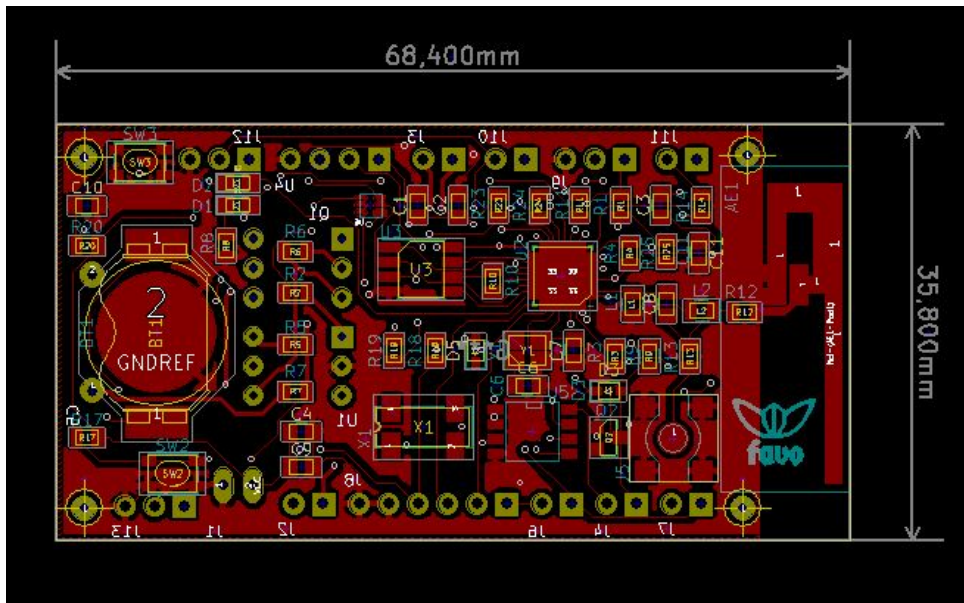


Figura 17: Layout da PCI, vista TOP.

Para fabricação e montagem dessa placa, foi escolhido o serviço da fábrica chinesa EMS-PCBA.

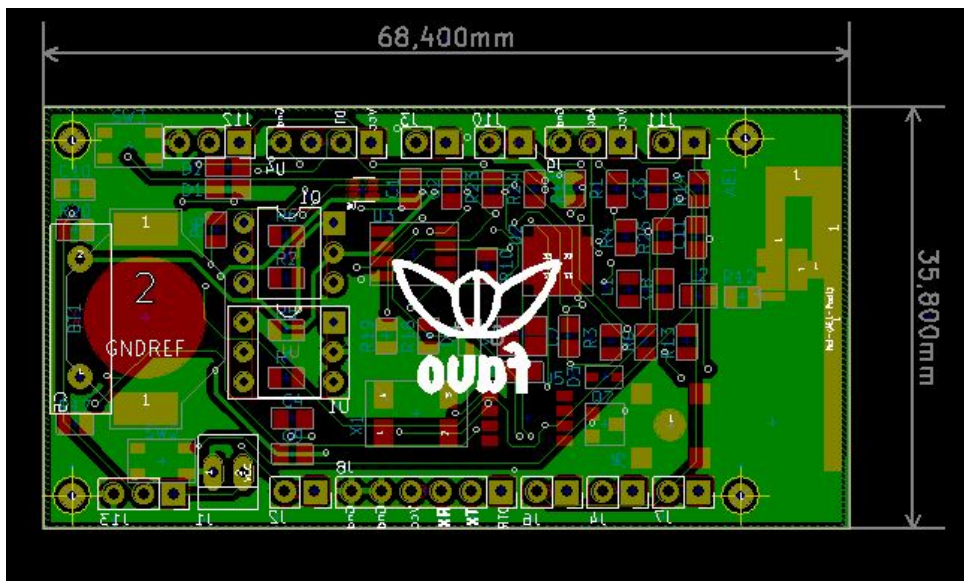


Figura 18: Layout da PCI, vista BOTTOM.

4.2 ADEQUAÇÕES NO *FIRMWARE* E NA API

As mudanças no *firmware* e na API para a utilização da placa projetada foram mínimas e apenas necessárias devido a mudança dos sensores utilizados, e a mudança de funcionalidade de alguns dos terminais do microcontrolador.

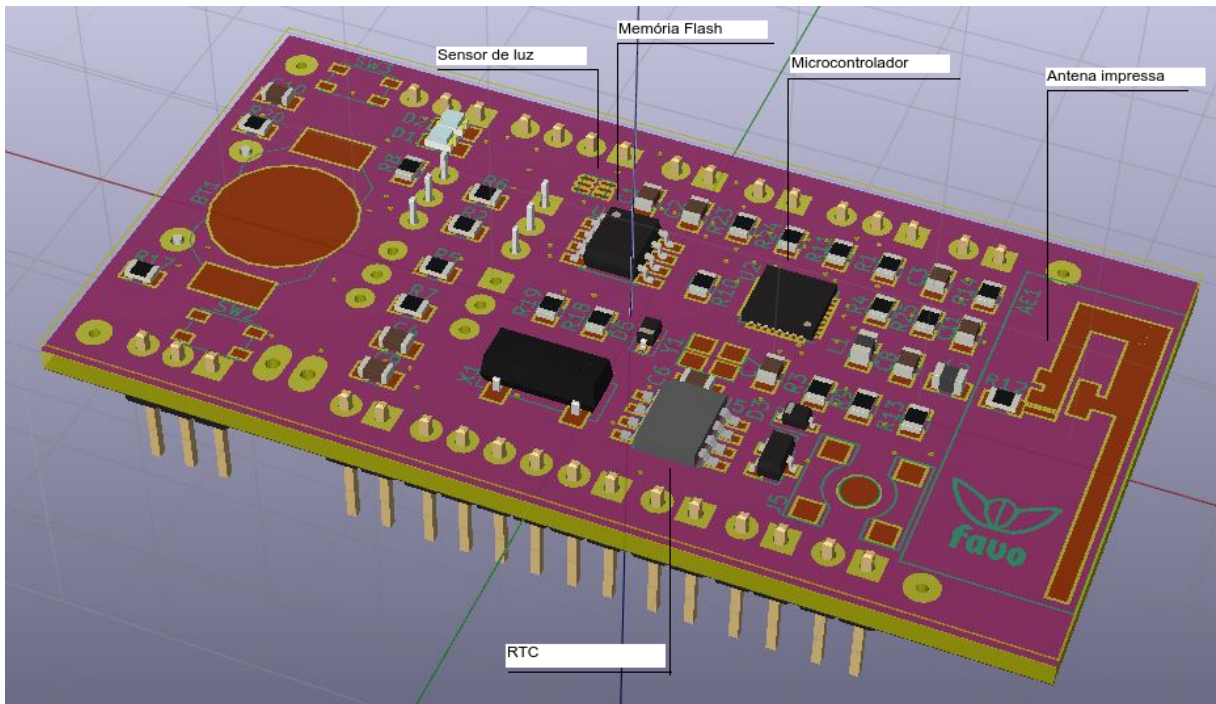


Figura 19: Modelo 3D da PCI. Vista da camada TOP, onde foram colocados apenas os componentes SMT. Os principais circuitos integrados utilizados no projeto estão indicados na imagem.

No *firmware* foi necessário estabelecer a comunicação do microcontrolador e o sensor de luminosidade, via protocolo I2C. Para a utilização do DHT22 foram apenas modificados os cálculos para a obtenção correta das leituras de temperatura e umidade.

Na API, foi feita apenas uma modificação referente aos cálculos do valor da luminosidade em *Lux*. Por não conter FPU no microcontrolador utilizado, esses cálculos são feitos em alto nível.

4.3 TESTES

Com a placa em mãos, iniciou-se uma bateria de testes para verificar as funcionalidades básicas, exceto testes de funcionamento do RTC e do acionamento CA. Foi encontrado um único problema, relativo a uma conexão que não foi feita de um terminal do microcontrolador, que teve que ser corrigido com retrabalho na placa para conclusão deste trabalho.

A placa de circuito impresso (PCI) apresentou bom funcionamento e estabilidade de sinal e conexão Wi-Fi com as suas antenas, a impressa na placa e a externa. Foi feito um teste para verificar o funcionamento da antena impressa na placa em modo Station, modo onde a qualidade e estabilidade da conexão são mais críticos. Os resultados obtidos mostram que a antena projetada tem bons resultados, e desempenho semelhante à antena de cerâmica do

módulo ESP-07. Na Figura 20 é possível ver o gráfico com os resultados:

Potência em função da distância

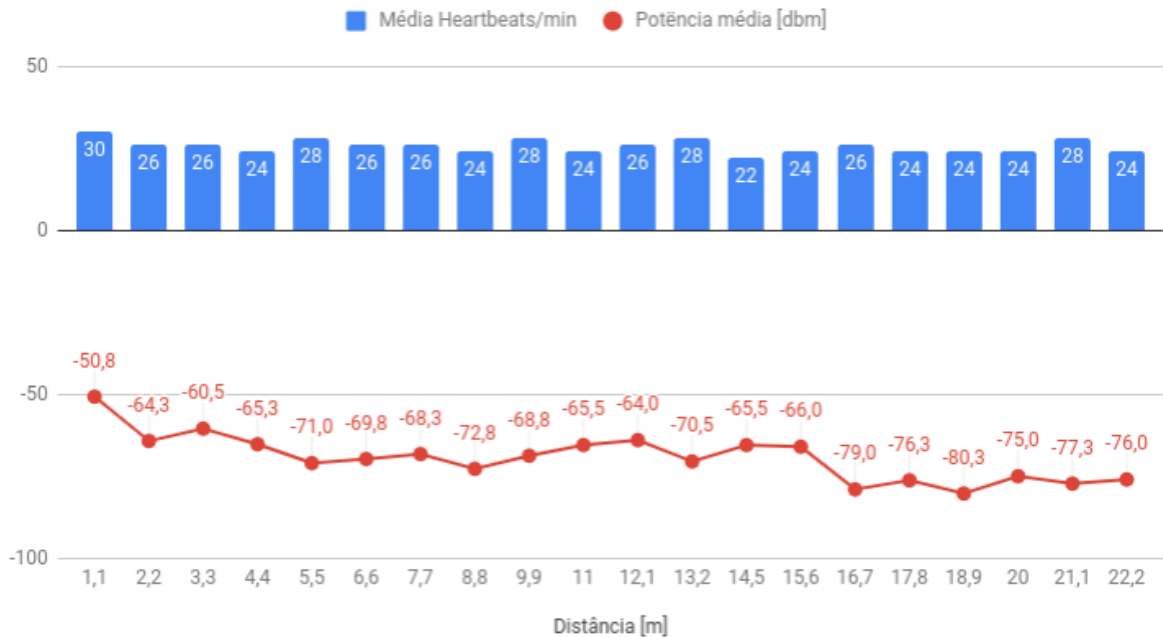


Figura 20: Gráfico com os resultados dos testes com a antena de PCI. As barras em azul indicam a média de *heartbeats/min*, e a linha em vermelho indica a potência média recebida de sinal Wi-Fi gerado por um roteador.

Esse teste foi realizado com três placas diferentes, com um *firmware* de teste e com uma placa de cada vez, sendo que o processo de sincronização foi feito em cada uma das distâncias, e foram colhidas duas informações: a potência do sinal calculada pelo microcontrolador, e a quantidade de *heartbeats*/minuto. Os *heartbeats* são contados a cada vez que a API recebe um dado novo de um dispositivo. Podemos verificar que a taxa de *heartbeats*/minuto se manteve no mesmo nível de grandeza de 1,1 metros até 22,2 metros, que foi a última distância medida. Para a análise da potência do sinal Wi-Fi, foi utilizada a Tabela 5. De acordo com a Tabela 5, apenas na distância de 18,9 metros o sinal deixou de ser confiável. Essas medidas foram feitas com linha de visada, isto é, sem obstáculos entre a PCI e roteador Wi-Fi.

4.4 MECÂNICA

O projeto mecânico foi feito para atender os objetivos específicos:

- Dentro do mesmo vaso, fornecer toda a estrutura física para abrigar o reservatório de água,

Tabela 5: Classificação da qualidade do sinal Wi-Fi.

Força do sinal [dBm]	Qualidade esperada
-30	Excelente
-50	Ótimo
-60	Bom
-67	Confiável, mínimo para um serviço como <i>streaming</i>
-70	Fraco
-80	Não confiável
-90	Sem conexão

Fonte: (TUMUSOK; NEWTH, 2018)

compartimento para substrato para plantas, compartimento de componentes eletrônicos e sustentação da película OPV.

- Descaracterizar o mínimo possível o design do vaso, salvo local de posicionamento e exposição da OPV;
- Proporcionar todas as condições básicas para o cultivo de uma planta local.

Na Figura 21 é possível ver o esboço do conceito mecânico do protótipo. Esses objetivos cumprem todos os requisitos funcionais do projeto, e se concluídos irão viabilizar a função de prova de conceito que do protótipo.

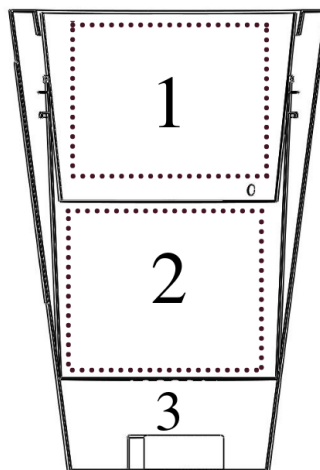


Figura 21: Conceito mecânico do protótipo, vista frontal em corte. O compartimento para substrato para plantas está indicado pelo número 1, o compartimento para água está indicado pelo número 2 e o compartimento de componentes eletrônicos está indicado pelo número 3.

Sendo assim, o protótipo foi desenvolvido com as seguintes peças:

- Película OPV de 29cm de largura por 29cm de comprimento (item 2 da Figura 22).
- Vaso encapsulador (item 1 da Figura 22), responsável por abrigar todos os componentes subsequentes.
- Compartimento plástico de aproximadamente 12 litros (item 3 da Figura 22), responsável por abrigar o solo e o substrato destinado ao plantio.
- Balde reservatório de água de 18 litros (item 4 da Figura 22), responsável por armazenar a água destinada a irrigação.
- Controlador de irrigação e distribuidor de mangueiras (item 5 da Figura 22), sendo que o distribuidor e a bomba serão submersos dentro da água contida no reservatório.

Note que no projeto mecânico foi considerado um tamanho de película OPV maior que o dimensionado na Seção 3.2. Isso porque na mecânica foram consideradas as bordas da película, que não tem efeito fotovoltaico.

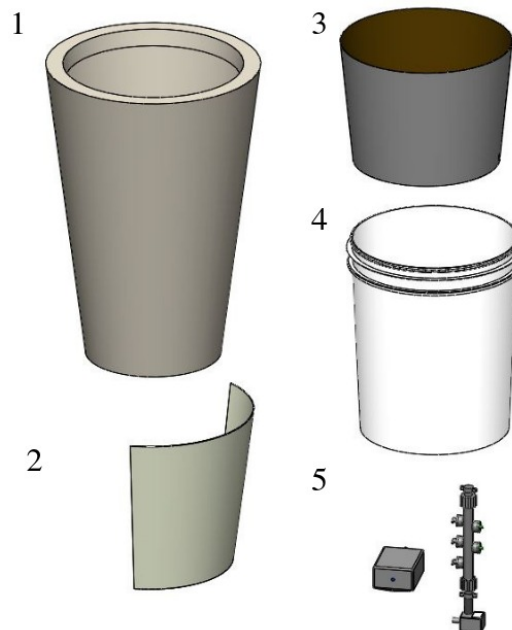


Figura 22: Imagem dos componentes do vaso separados. A peça 1 é o vaso encapsulador, a peça 2 é a película OPV, a peça 3 é o compartimento para o substrato para plantas, a peça 4 é o reservatório de água e as peças indicadas pelo número 5 são o controlador de irrigação e o distribuidor de mangueiras.

Os itens foram escolhidos de maneira que possam ser empilhados, facilitando a implementação do protótipo. O compartimento 3, descrito na Figura 21, é posicionado dentro do reservatório de água. Dessa maneira, o conjunto formado pelos itens 3 e 4 da Figura 22, deve ser posicionado dentro do vaso encapsulador. A película OPV é fixada na parede externa do vaso, onde foram feitos dois pequenos furos cujo objetivo é permitir a passagem dos fios que conectam a película OPV ao controlador de carga. A montagem final é apresentada na Figura 23.

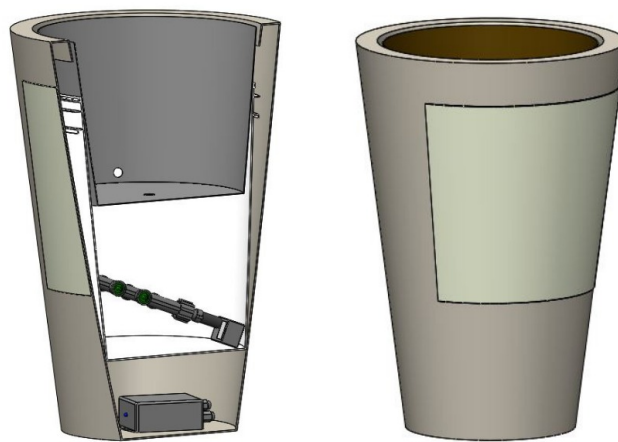


Figura 23: Imagem da mecânica do vaso finalizada. À esquerda sua visão em corte, permitindo a visualização da sua montagem completa. À direita, é possível ver o posicionamento da película OPV na parte externa do vaso.

É importante ressaltar que essa montagem permitiu que o reservatório de água seja preenchido pela água da chuva. Isso é possível devido a furos presentes na base do compartimento de solo, que permitem que a água em excesso seja armazenada novamente no reservatório. Outro detalhe importante da mecânica que não pode ser visto nas imagens do projeto, é a passagem de duas mangueiras de irrigação, do reservatório de água para o compartimento de substrato para a planta.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os objetivos do trabalho foram cumpridos: criou-se uma placa eletrônica funcional com redução de aproximadamente 30% dos custos em comparação com a placa utilizada anteriormente, somado ao aumento das funcionalidades do dispositivo comercializado pela Favo Tecnologia. Foi feito o conceito, projeto e prototipagem de um vaso IoT alimentado por energia solar. Na Figura 24 podemos ver duas fotos do resultado do projeto eletrônico.

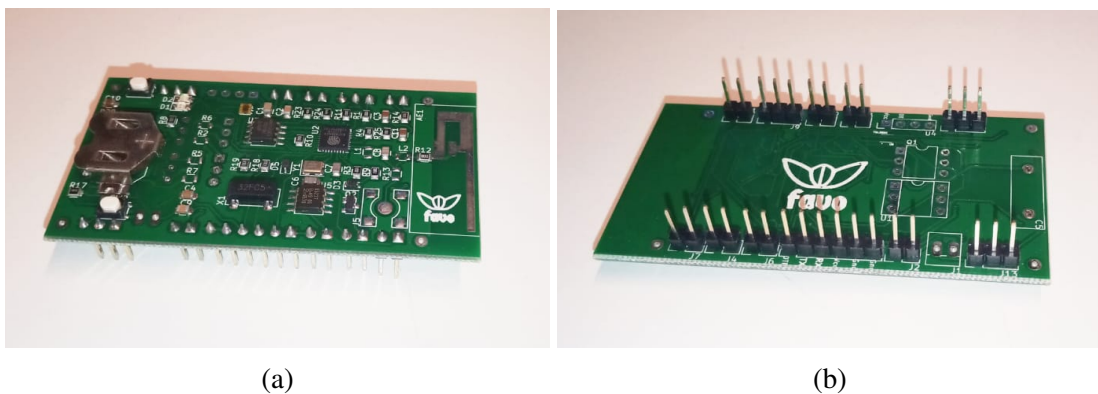


Figura 24: Fotos da placa fabricada para prototipagem do vaso IoT. A Figura (a) tem a foto da vista TOP da placa, e a Figura (b) da vista BOTTOM.

Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados diversos conceitos vistos no curso de Engenharia Eletrônica. No projeto e desenvolvimento do *hardware* foi necessária a base de circuitos elétricos, eletrônica básica e semicondutores de potência. Para a modificação do *firmware* foram utilizados conceitos vistos em fundamentos de programação, estrutura de dados, sistemas embarcados e redes de computadores.

Para a elaboração do protótipo utilizou-se dos conceitos vistos desde engenharia do produto, viabilidade econômica e financeira de projetos e empreendedorismo, até matérias que não são do currículo do curso, como projetos mecânicos e gerência de projetos. Ao se integrar todas as partes, obteve-se um protótipo que cumpre todos os requisitos levantados, o que caracteriza um projeto bem sucedido.

5.1 PONTOS FORTES

Esse trabalho teve como resultado um *hardware* que será comercializado em breve, e proporcionou uma experiência em gestão de projetos, criação e desenvolvimento de produto em nível de mercado. O conceito criado também está sob esforços para se tornar um novo produto para a empresa Favo Tecnologia.

5.2 COMPARAÇÃO COM PRODUTOS JÁ EXISTENTES

Não há nenhum produto que se compare identicamente ao vaso IoT solar, porém há alguns que se dispõem a resolver o mesmo problema. Em termos de tecnologia desenvolvida não há desvantagens, mas em termos de design há bastante o que ser melhorado.

Há alguns produtos que utilizam tecnologia bluetooth para comunicação com a interface do usuário, o que deixa a etapa de sincronização e problemas de segurança menores. Por outro lado, isso tira a característica do controle com acesso remoto, o que pelo ponto de vista do cliente é um grande diferencial, de acordo com o crescimento do mercado de produtos IoT.

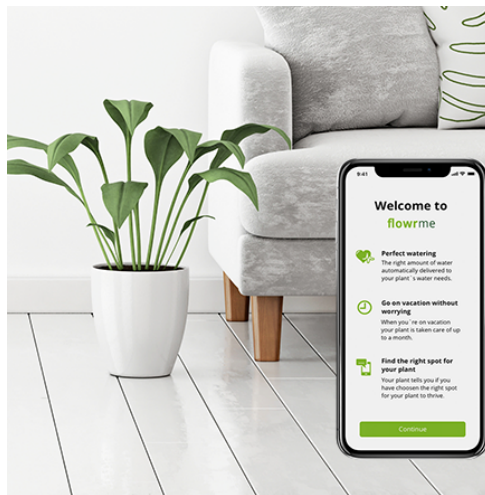
Nas Figuras 25a e 25b, pode-se ver dois produtos com o conceito muito parecido com do produto desenvolvido no presente trabalho, o FlowrMe e o Parrot Pot. Na Tabela 6 é possível verificar as funcionalidades desses dois produtos comparados com o vaso IoT desenvolvido neste trabalho.

A única funcionalidade a mais que o vaso IoT tem a mais que o Parrot Pot é a alimentação por energia solar, o que é uma característica desejada pelo público alvo.

Já o FlowrMe, além de não ter alimentação por luz solar, se distancia por ser um produto apenas para ambientes internos, logo também não apresenta reaproveitamento da água da chuva. A irrigação neste vaso é feita por capilaridade, não se adequando a toda planta e tendo essa interação a menos com o usuário na hora de fazer a rega.

Tabela 6: Comparação do produto desenvolvido com produtos disponíveis no mercado.

	Produto proposto neste trabalho	FlowrMe	Parrot Pot
IoT	sim	sim	sim
Alimentado por energia solar	sim	não	não
Irrigação ativa	sim	não	sim
Aproveitamento da água da chuva	sim	não	sim
Ambiente interno e externo	sim	não	sim



(a)

Fonte: <http://www.flowrme.com/>



(b)

Fonte: <https://www.parrot.com/>

Figura 25: Fotos de produtos semelhantes ao desenvolvido neste trabalho. Na Figura (a) é mostrado o FlowrMe, da startup alemã homônima. Na Figura (b) temos o Parrot Pot, vaso IoT da empresa francesa Parrot.

5.3 PROBLEMAS ENCONTRADOS

O problema mais evidente é o erro de projeto de *hardware* encontrado, que embora contornado para a fabricação do protótipo, fez serem necessárias alterações no *layout* da placa. A falta de depurador que possibilitasse a inspeção da memória e a execução do programa em passos, e a falta de uma giga de testes dificultaram a execução o projeto.

Além disso, viu-se necessárias habilidades multidisciplinares para sanar as fragilidades do produto, e a competência mais relevante seria a de um designer para entregar todo o valor proposto para o produto, e conseguir entregar o conceito de um produto de luxo.

5.4 MELHORIAS

Do ponto de vista da tecnologia, vê-se melhorias em curto prazo de se utilizar os periféricos já disponíveis na placa projetada, que são: RTC, antena externa e acionamento CA. Há muitas melhorias para serem feitas também no aplicativo, como utilização dos dados colhidos para disponibilizar algum tipo de inteligência do dispositivo para o cliente (sugestão de regas ou sugestão de cultivares, por exemplo), melhoria do processo de sincronismo, ter o aplicativo nativo para os sistemas operacionais móveis mais utilizados (IOS e Android).

Do ponto de vista comercial, é necessário um estudo sobre o público-alvo e adequação do design do produto, que foi projetado apenas de maneira funcional, para um modelo mais

atrativo, como o de seus concorrentes.

5.5 TRABALHOS FUTUROS

A empresa Favo Tecnologia irá dar continuidade no projeto desse produto, bem como na melhoria e utilização da eletrônica desenvolvida nesse trabalho. O conceito do vaso IoT será revisado, e uma empresa de design industrial irá refazer o encapsulamento do vaso.

6 CONCLUSÃO

O objetivo geral do projeto - desenvolver uma placa eletrônica utilizando o microcontrolador ESP8266EX embarcado e fazer o conceito de produto, um vaso IoT alimentado por energia solar foi atingido. Apesar de alguns erros encontrados na placa projetada, eles foram identificados e corrigidos para a próxima versão.

O protótipo do vaso cumpre todos os objetivos específicos propostos. O sistema foi capaz de adquirir dados de sensores de luminosidade, umidade do ar e temperatura ambiente, e fazer o acionamento da irrigação pelo comando do aplicativo de celular. O vaso protótipo cumpriu todas as suas funcionalidades alimentado através de da película de OPV, proporcionando todas as condições básicas para o cultivo de uma planta.

A integração do hardware com o sistema de monitoramento em nuvem foi bem sucedida, e será utilizado pela empresa Favo Tecnologia após a produção em escala das placas eletrônicas.

Esse trabalho foi desenvolvido em um ambiente empresarial desde a concepção do projeto, até a produção do seu protótipo final. Para realizá-lo, foi necessário diálogo e comunicação eficaz entre as equipes envolvidas, além do apoio dos investidores da empresa para dar continuidade ao projeto. Para finalizá-lo foram necessárias diversas competências como liderança, gestão de pessoas, conhecimento e habilidades técnicas para execução dos projetos eletrônicos, mecânicos e alterações do *firmware*, conhecimento de fabricação eletrônica para escolha dos componentes e fabricação dos protótipos na China e habilidades em gestão de projetos.

Ressalta-se a importância da contribuição do curso de Engenharia Eletrônica da UTFPR para o desenvolvimento desse trabalho, e da empresa Favo tecnologia que tem em seu time quatro pessoas dessa universidade. Durante o curso foram abordados conceitos técnicos essenciais para a execução desse projeto, porém a capacidade mais importante adquirida durante o curso foi a resiliência, que é imprescindível pra quem deseja empreender.

REFERÊNCIAS

Adesto Tech. **PCB design and layout considerations for adesto memory devices**. [S.l.], 2018. Disponível em: <www.adeptotech.com/wp-content/uploads/PCB_Design_Guidelines.pdf>. Acesso em: 28 de março de 2019.

AMS. **TSL2561 Light-to-Digital Converter**. 2018. Disponível em: <https://ams.com/documents/20143/36005/TSL2561_DS000110_3-00.pdf>. Acesso em: 28 de março de 2019.

Aosong Electronics Co. **Digital-output relative humidity temperature sensor/module DHT22**. Guangzhou, China: [s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>>. Acesso em: 28 de março de 2019.

CABRAL, R. T. **AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO ORGÂNICO (OPV) COMERCIAL**. Porto Alegre: [s.n.], 2016.

CROCKFORD, D. **Introdução ao JSON**. 2018. Disponível em: <<https://www.json.org/json-pt.html>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2019.

ELLIS, S. **An Introduction to ERB Templating**. 2016. Disponível em: <<http://www.stuartellis.name/articles/erb/>>. Acesso em: 28 de março de 2019.

Espressif Systems. **Datasheet ESP8266EX**. 2018. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0aesp8266ex_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 28 de março de 2019.

FAO. **Issues in urban agriculture. Studies suggest that up to two-thirds of city and peri-urban households are involved in farming**. Curitiba, Brasil: [s.n.], 1999. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/magazine/9901ap2.html>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2019.

GARTNER. **Gartner Says 8.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2017, Up 31 Percent From 2016**. 2017. Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-02-07-gartner-says-8-billion-connected-things-will-be-in-use-in-2017-up-31-percent-from-2016>>. Acesso em: 27 de abril de 2019.

GEER, D. **Will Software Developers Ride Ruby on Rails to Success?** 2009. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1597080>>. Acesso em: 04 de junho de 2019.

GOODRICH, G. **Understanding the Model-View-Controller (MVC) Architecture in Rails**. 2017. Disponível em: <<https://www.sitepoint.com/model-view-controller-mvc-architecture-rails/>>. Acesso em: 04 de junho de 2019.

HOORNWEG, D.; MUNRO-FAURE, P. **Urban agriculture for sustainable poverty alleviation and food security**. FAO, 2008.

JAOO, A. **The Model-View-Controller (MVC)**. Oslo: JavaZONE, 2003. Disponível em: <https://heim.ifi.uio.no/trygver/2003/javazone-jaoo/MVC_pattern.pdf>.

KUMAR, R. S. Intelligent street light monitoring and control using micro controller. 2016. Disponível em: <<http://ijecrt.org/wp-content/uploads/2017/04/5-IJECRT-5.pdf>>. Acesso em: 15 de junho de 2019.

LIGHT, R. **MQTT man page**. 2018. Disponível em: <<http://mosquitto.org/man/>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.

OPENSTAX. **The Light-Dependent Reactions of Photosynthesis**. 2015. Disponível em: <<https://cnx.org/contents/-CmzvUct@11/The-Light-Dependent-Reactions-of-Photosynthesis>>. Acesso em: 15 de junho de 2019.

PINHEL, M. **Sistema de telemetria e telecomando para suporte à agricultura urbana**. Curitiba, Brasil: [s.n.], 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9945/1/CT_COMET_2018_1_01.pdf>. Acesso em: 13 de maio de 2019.

PLATFORMIO. **PlatformIO IDE for Atom**. 2014. Disponível em: <<https://docs.platformio.org/en/latest/ide/atom.html>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2019.

Ruby Documentation. **ERB – Ruby Templating**. 2017. Disponível em: <<https://ruby-doc.org/stdlib-2.6.3/libdoc/erb/rdoc/ERB.html>>. Acesso em: 05 de junho de 2019.

Texas Instruments. **Design Note DN0007 2.4 GHz Inverted F Antenna**. Texas, EUA: [s.n.], 2008. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/an/swru120d/swru120d.pdf>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2019.

TUMUSOK, J. P.; NEWTH, J. D. **Wi-Fi Signal Strength: What Is a Good Signal And How Do You Measure It**. 2018. Disponível em: <<https://eyesaaS.com/wi-fi-signal-strength/>>. Acesso em: 15 de junho de 2019.

YUAN, M. **Conhecendo o MQTT**. 2017. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.

APÊNDICE A – FABRICAÇÃO DA PELÍCULA OPV

Para esse trabalho foram utilizados os filmes fotovoltaicos da empresa SUNEW, empresa brasileira sediada em Belo Horizonte, e com a maior representatividade mundial dessa tecnologia. O diferencial da SUNEW quando comparada as outras fabricantes de OPV é o método de fabricação desenvolvido pela empresa, que tornou o processo de produção dos filmes mais eficiente e com maior escalabilidade. Utilizando impressoras que foram fabricadas para outros fins, a equipe da SUNEW chegou a uma configuração que possibilitou a impressão das camadas com a espessura de uma molécula dos polímeros. Na Figura 26 é possível ver uma foto da linha dessa produção.

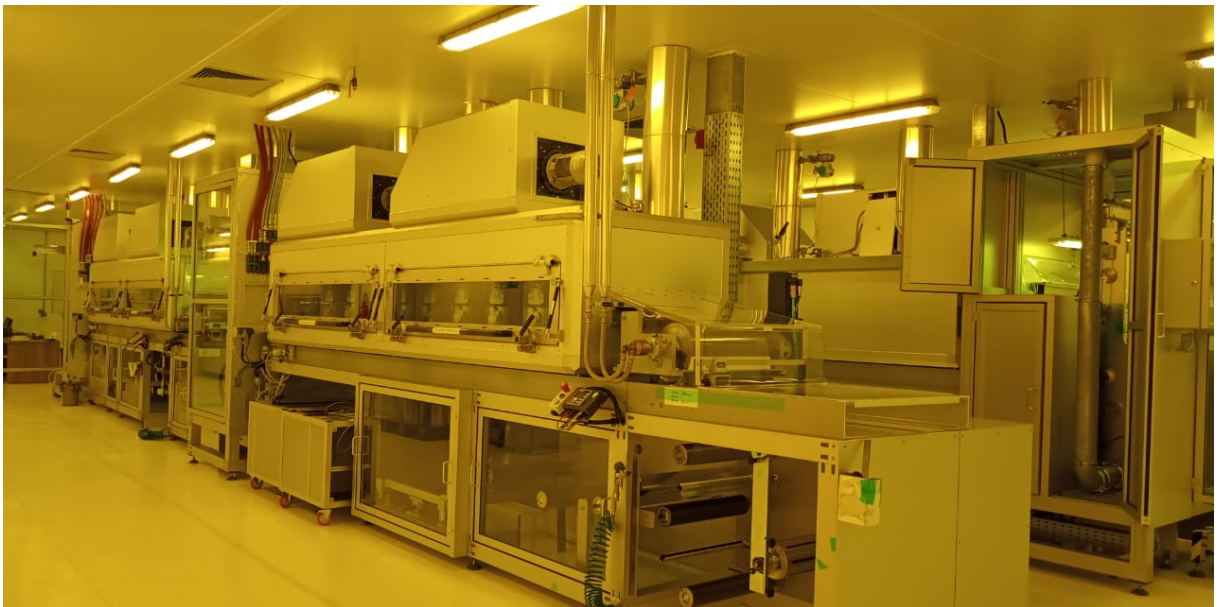


Figura 26: Parte da linha de produção dos filmes de OPV da fábrica da SUNEW.